

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

ГЮІК 564186.000 ПЗ
(позначення документа)

Метод підвищення ефективності роботи сонячних елементів
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ЕППм-19-1
Мірошніченко Олексій Іванович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 – «Електроніка»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»
(повна назва освітньої програми)

Керівник Доц. к. фіз-мат.наук Фролова Т.І
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І.М.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 – «Електроніка»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Мірошніченко Олексію Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод підвищення ефективності роботи сонячних елементів
затверджена наказом по університету від 06.11 2020 р. № 1561 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20 р.
3. Вихідні дані до роботи розробка і створення системи стеження за положенням Сонця зі схемою керування на платформі Arduino UNO для збільшення ефективності роботи сонячних батарей. Потік прямої сонячної радіації $S_{\text{гпр}}$ дорівнює 1325 Вт/м^2 , а на поверхні Землі $S_{\text{гmax}} = 925 \text{ Вт/м}^2$. Для розрахунку використовується місцезнаходження сонячних панелей – Харків. Сонячні панелі SOLAR-165X135-3.5W-6V

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Аналіз методів підвищення ефективності роботи сонячних батарей
2. Дослідження ефективності системи стеження
3. Створення мобільної системи автоматичного стеження за положенням сонця
4. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація – 15 слайдів, скетч системи стеження на Arduino

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання вихідних даних, та аналіз літературних джерел	5.09-29.09	Виконано
2	Огляд методів підвищення ефективності роботи сонячних батарей	30.09-6.10	Виконано
3	Дослідження ефективності САУ та розрахунок максимальної потужності сонячного випромінювання	7.10-15.10	Виконано
4	Створення мобільної системи автоматичного стеження за положенням сонця	16.10-30.10	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	1.11-30.11	Виконано
6	Оформлення графічних та демонстраційних матеріалів	1.12-8.12	Виконано
7	Проходження нормоконтролю і отримання рецензії	9.12-11.12	Виконано
8	Підготовка та захист атестаційної роботи	12.12-17.12	Виконано

Дата видачі завдання _____ 20__ р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. каф. МЕЕПП Фролова Т.І
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 68 сторінки, 30 рисунків, 15 таблиць, 27 джерел, 3 додатка.

СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ТРЕКЕР, КУТ ПАДІННЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ, ARDUINO

Об'єктом роботи є збільшення ефективності роботи сонячних панелей відносно падаючого сонячного випромінювання.

Предмет дослідження – розрахунок кута нахилу сонячних панелей відносно сонячного випромінювання.

Мета роботи – розробка і створення системи стеження за положенням Сонця зі схемою керування на платформі Arduino UNO для збільшення ефективності роботи сонячних батарей.

Метод дослідження – експериментально-аналітичний аналіз існуючих варіантів поліпшення ефективності роботи сонячних панелей. В роботі зроблено огляд існуючих методів збільшення ефективності роботи сонячних батарей. Розглянуто принципи роботи та основні конструкції систем стеження за положенням Сонця. Проаналізовано ефективність системи стеження та проведено порівняльний розрахунок ефективності роботи одно та двохосних систем стеження відносно стаціонарно встановлених сонячних панелей.

Обґрунтовано вибір двохосної системи стеження.

Запропоновано конструкцію мобільної двохосної системи стеження, що працює під управлінням платформи Arduino UNO.

Внаслідок виконання роботи будуть отримані результати, які зможуть застосовуватись при проектуванні систем орієнтації сонячних панелей.

ABSTRACT

The explanatory note contains 68 pages, 30 figures, 15 tables, 27 sources, 3 appendices.

SOLAR RADIATION, SOLAR ELEMENT, BILATERAL SOLAR PANELS, SOLAR ENERGY, PHOTOELECTRIC CONVERTER, SYSTEM SYSTEM, SYSTEM SYSTEM

The object of the work is the system of tracking the Sun.

The purpose of the work is to find out the most promising method of increasing the efficiency of solar panels.

The research method is an experimental-analytical analysis of the existing options for improving the efficiency of solar panels. The paper reviews the methods of increasing the efficiency of solar panels. The principles of operation and basic designs of solar position monitoring systems are considered. A study of the effectiveness of tracking systems. A comparative calculation of the efficiency of single and biaxial tracking systems relative to stationary solar panels.

The choice of biaxial tracking system is substantiated.

The design of a mobile biaxial tracking system running on the Arduino UNO platform is proposed.

As a result of the work, the results were obtained that can be used in the design of orientation systems of solar panels.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ	10
1.1 Шляхи збільшення ефективності СБ	10
1.2 Обґрунтування вибору системи стеження за Сонцем	11
1.3 Вплив кута нахилу на ефективність	14
1.4 Вплив зовнішніх факторів на ефективність роботи фотоперетворювачів	16
1.5 Методи орієнтування сонячних батарей	17
1.6 Склад сонячного трекара	18
1.7 Принцип дії трекара	20
1.8 Висновки	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ випромінювання	24
2.1 Раціональне використання сонячної енергії	24
2.2 Математична модель роботи системи стеження за Сонцем	27
2.3 Розрахунок максимальної потужності сонячного ЗТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО СТЕЖЕННЯ ЗА ПОЛОЖЕННЯМ СОНЦЯ	37
3.1. Складові системи стеження за Сонцем	50
3.2 Електропривод для регулювання сонячних панелей	52
3.3 Мікроконтролер AtMega328	56
3.4 Світлочутливі елементи	58
3.5 Сонячні панелі	59
3.6 Деталі корпусу	60
3.7 Електрична схема	61

3.8 Алгоритм роботи програми	62
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	66
ДОДАТОК А	69
ДОДАТОК Б	70
ДОДАТОК Б	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕОТ – рівняння часу (Equation of Time)

АЦП – аналогово цифровий перетворювач

ККД – коефіцієнт корисної дії

САУ – система автоматичного управління

ШИМ – широтно-амплітудна модуляція

СБ – сонячні батареї

ВСТУП

Ресурси викопних видів палива витрачаються високими темпами. В цьому столітті їх дефіцит може істотно позначитися на житті людей, в зв'язку з чим в якості альтернативи особлива увага приділяється відновлюваним джерелам енергії.

З кожним роком все гостріше постає питання збільшення потужностей відновлюваних джерел енергії, так як традиційні джерела енергії не завжди безпечні для навколишнього середовища, та використовують досить дорогі ресурси.

На нинішньому етапі розвитку електроенергетики найбільш перспективними джерелами отримання енергії є відновлювані джерела енергії, а саме вітрові та сонячні електростанції. Для використання сонячних фотоперетворювачів непотрібні спеціальні умови, тому їх широко використовують не тільки на великих електростанціях, а й в приватних будинках.

Строк служби сонячних батарей достатньо тривалий, що сприяє широкому використанню в промисловості та індивідуальними споживачами. Вартість даного обладнання поступово знижується, і з часом енергія таких джерел стане нижчою від ціни традиційних джерел енергії.

Мета роботи – з'ясування найбільш перспективних методів поліпшення ефективності сонячних батарей.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

1.1 Шляхи збільшення ефективності СБ

Дослідження оцінки використання сонячного випромінювання для енергетики показали, що сонячна енергетика на сьогоднішній день неефективна і для комерційних підприємств неприваблива [1, 2]. Збільшення привабливості сонячної енергетики можливо при виконанні наступних умов: зниження цін на обладнання для сонячних електростанцій, та збільшення ефективності сонячних фотоперетворювачів.

Реалізація першого пункту можлива при умовах здешевлення матеріалів, та автоматизації виробництва.

Щодо збільшення ефективності, це можливо при умові виконання наступних пунктів [3, 4]:

а) використання багат шарових фотоприймачів на основі гетеропереходів, але вони коштують набагато дорожче інших, тому це не завжди вигідно;

б) використовувати двохсторонні сонячні батареї. Це збільшить ефективність перетворення сонячної енергії приблизно на 10–20 %, але такий тип фотоперетворювачів набагато дорожче звичайних;

в) застосовувати концентратори, вони збільшують потужність, що видається кожним елементом, але сильно збільшують температуру, від чого зменшується термін експлуатації елементів;

г) установлювати разом з сонячними панелями трекер, який буде постійно направляти панелі в бік сонця, така система збільшить ефективність виробництва електроенергії приблизно в половину, в порівнянні з стаціонарною системою установки батарей [5]. При цьому вартість такої системи відносно невелика.

З перелічених вище недоліків та переваг впливає, що найбільш перспективним з усіх перелічених є останній пункт. Величина, що впливає на вибрану потужність сонячних модулів, це кут падіння променів Сонця поверхню батарей. Вибраний метод дає приріст виробленої енергії до 50%, відносно стаціонарної установки. Головною перевагою системи стеження є властивість змінювати кут нахилу сонячних панелей на протязі дня таким чином, щоб кут падіння сонячних на поверхню панелі променів постійно дорівнював 90 градусів. Завдяки цьому збільшиться кількість енергії, що поглинається, тобто збільшиться кількість виробленої потужності. Даний метод підходить як для уже працюючих електростанцій (потрібно лише замінити опорні конструкції), так і для електростанцій, що будуються [6, 7].

1.2 Обґрунтування вибору системи стеження за Сонцем

Сонячний трекер (Solar tracker) – пристрій для слідкування за положенням Сонця, та орієнтування несущої конструкції так, щоб отримати максимальну продуктивність від сонячних панелей, чи інших пристроїв. Принцип дії трекера наступний. Контролер за допомогою спеціальних сенсорів визначає оптимальний напрямок для сонячної батареї і приводить в дію привід, який повертає платформу в необхідному напрямку[22].

Суть використання даних пристроїв наступна, трекер періодично повертає платформу, в залежності від зміни положення Сонця на небосхилі. Завдяки чому коефіцієнт корисної дії сонячних панелей мало змінюється на протязі дня (при умові відсутності хмарності).

На графіку, що зображений на рисунку 1.1 ми бачимо залежність величини втрат від величини кута нахилу сонячної панелі від ідеального значення положення. Звідси стає зрозуміло, що трекер який має точність $\pm 5\%$ забезпечує поглинання панеллю близько 99,6% потужності сонячних променів та максимум енергії від розсіяного сонячного випромінювання.

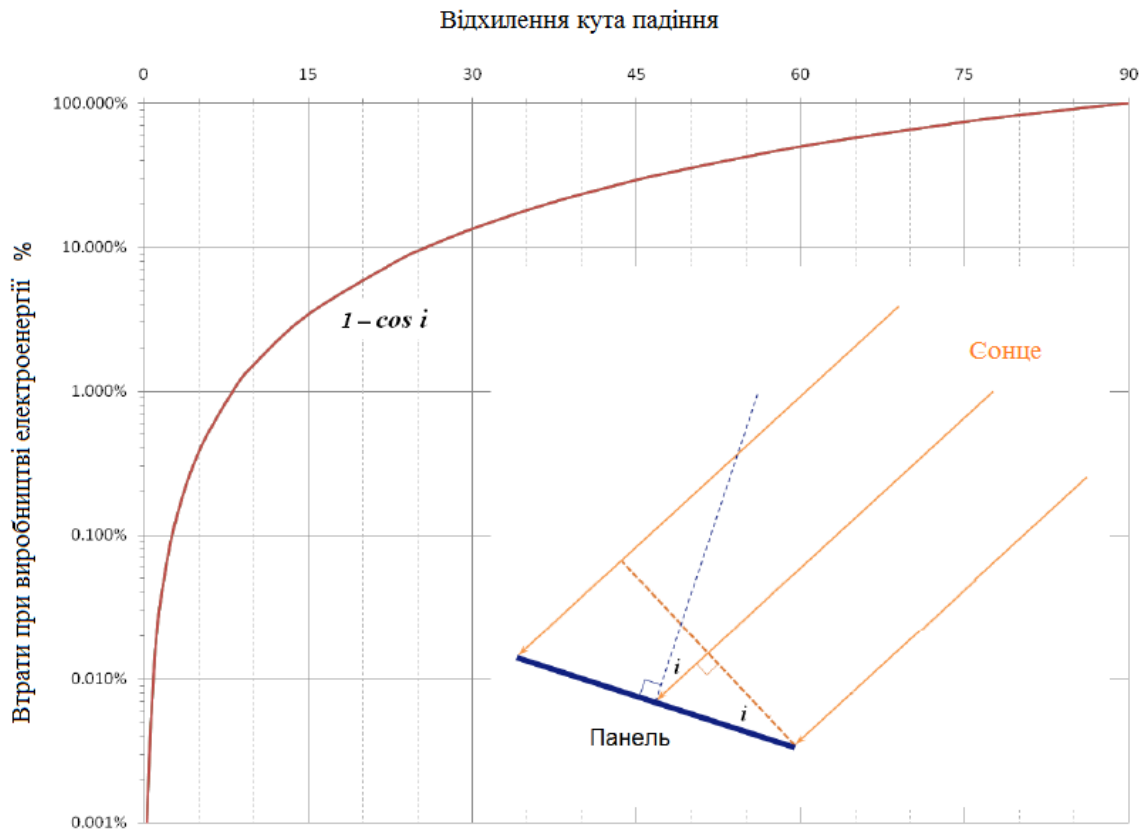


Рисунок 1.1 – Залежність величини втрат під час виробництва електроенергії сонячними батареями від кута нахилу

Ефективний кут повороту панелей приблизно 150 градусів. В цей час панель, яка встановлена стаціонарно, втрачає до 75% від можливого вироблення в ранковий та вечірній час.

Трекери бувають декількох конфігурацій. Відрізняються алгоритмами стеження, мають різний принцип побудови механізму який приводить в рух панелі. Але всі трекери можна об'єднати в дві групи – двохкоординатні та однокординатні [23].

Якщо панелі рухаються тільки в східно-західному напрямку, то їх називають системою з однокординатним стеженням. Сонце окрім руху зі сходу на захід, має ще й сезонне переміщення (Рисунок 1.2) в напрямку північ-південь на 46 градусів. І для більш точного стеження на протязі року, використовують двохкоординатну систему [8].

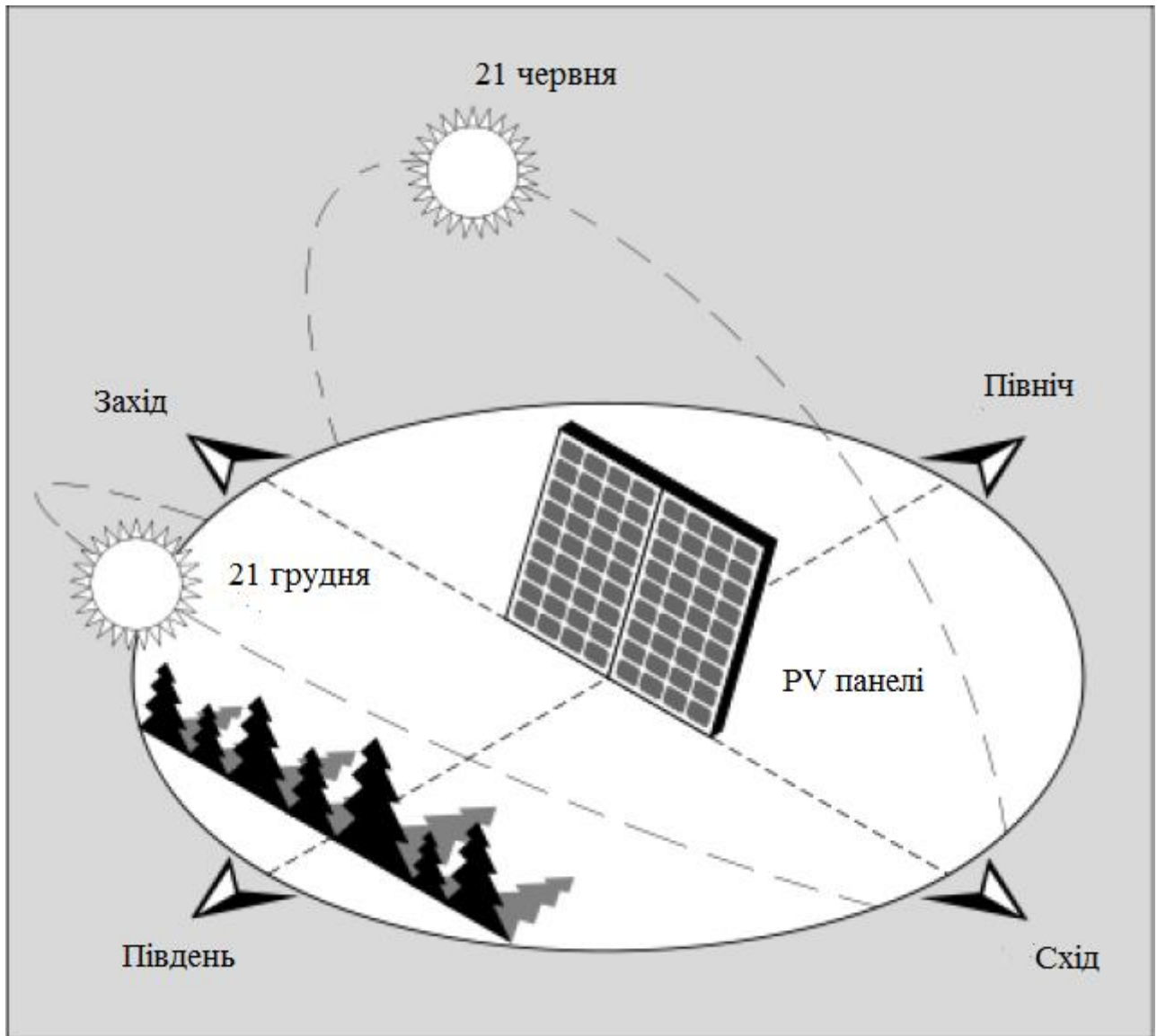


Рисунок 1.2 – Орієнтація панелі по напрямку

Робочою системою трекера є:

- а) сонячна батарея, яка складається з окремих електричних фотоперетворювачів;
- б) двигун Стірлінга, який виробляє електроенергію за допомогою дзеркала параболічного відбивача, яке служить як система фокусування;
- в) дзеркало відбивача, яке служить для фокусування сонячних променів на будь-який пристрій. Яким може бути як фотоприймач так і теплоносій;
- г) оптичні пристрої ті інше.

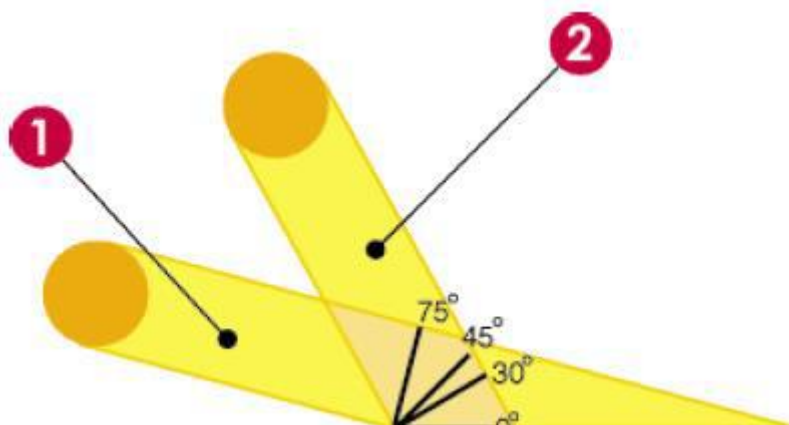
Висока точність орієнтування системи відносно Сонця необхідна для отримання максимального ККД. А задача трекера полягає в зменшенні кута падіння сонячних променів на поверхню фотоприймача, CSN, HCPV систем, параболічних відбивачів [24].

1.3 Вплив кута нахилу на ефективність

Найбільша ефективність роботи сонячних панелей досягається при виконанні умови падіння сонячних променів на поверхню під кутом 90 градусів. У приватному використанні сонячні панелі встановлюють найчастіше на дахах будинків, або на спеціальній конструкції, і положення в таких випадках фіксоване, тому кут нахилу панелі відносно Сонця змінюється на протязі дня, і не завжди досягає показника в 90 градусів. Кут між поверхнею сонячної панелі та горизонтальною поверхнею називається кутом нахилу.

На протязі року відбуваються сонячні варіації, тобто взимку Сонце не досягає того рівня, що в літній сезон, тому для збільшення ефективності потрібно влітку зменшувати кут нахилу панелі відносно горизонтальної поверхні, а взимку – навпаки збільшувати кут нахилу. Але якщо можливості змінювати кут немає, то потрібно встановлювати панелі під оптимальним кутом, значення якого знаходиться посередині між оптимальними кутами нахилу в літній та зимовий сезон. Також цей кут відрізняється в залежності від широти регіону. Наприклад, на екваторі панелі при умові стаціонарної установки, повинні бути встановлені в горизонтальному положенні [26].

Зазвичай оптимальний кут нахилу рівний значенню широти місцевості. В літній період від цього значення віднімають 10–15 градусів, а взимку додають таке значення. Тому рекомендовано змінювати кут нахилу два рази на рік, як це зображено на рисунку 1.3.



1 – Сонце взимку; 2 – Сонце влітку

Рисунок 1.3 – Оптимальний кут нахилу панелей в літній та зимовий періоди

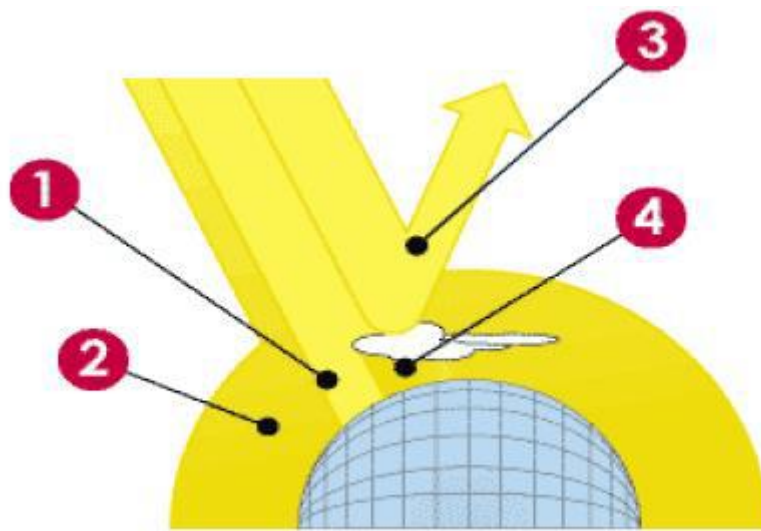
Відхилення до 5 градусів від оптимального значення практично не впливають на ефективність роботи фотоперетворювачів. Більш детально залежність втрат від кута відхилення зображена в таблиці 1.1. Набагато сильніше впливають на ефективність роботи погодні умови. Для систем автономного живлення показник кута нахилу більш критичний, особливо в зимовий період, коли світловий день короткий і Сонце часто зникає за хмарами. Також потрібно враховувати затінення на протязі дня. Так, наприклад, якщо зі сторони сходу стоїть багатоповерхівка, а з заходу перешкод немає, то варто змінити орієнтацію панелей з півдня на південний захід [25].

Таблиця 1.1 – Втрати енергії внаслідок віддзеркалення

Кут падіння променів світла	Втрати, %
9	1,2
18	4,9
40	19
45	29

1.4 Вплив зовнішніх факторів на ефективність роботи фотоперетворювачів

Сонячне світло в космічному просторі проходить прямолінійно. Потрапляючи до атмосфери світло частково заломлюється і віддзеркалюється від атмосфери, інша ж частина світла потрапляє до Землі без перешкод, як наведено на рисунку 1.4.



1 – пряма; 2 – поглинання; 3 – віддзеркалення; 4 – розсіяння світла

Рисунок 1.4 – Рух випромінювання від Сонця на поверхню Землі

Частина світла поглинається в атмосфері. Заломлене світло називають розсіяним світлом або дифузною радіацією, а та частина яка досягає земної поверхні без заломлення і поглинання називається прямою радіацією, вона найбільш ефективна для генерації електроенергії.

Сонячні модулі генерують енергію навіть коли небо вкрите хмарами, але потужність генерації зменшується приблизно на 75%, детальніша інформація наведена в таблиці 1.2 [9]. Тому найкращі показники ефективності будуть при умові безхмарної погоди, та якщо панелі стоять перпендикулярно до Сонця.

Для країн північної півкулі панелі повинні бути направлені в сторону півдня, а для місцевості південної півкулі панелі орієнтують в північному напрямку [27].

Таблиця 1.2 – Вплив довколишніх факторів на генерацію енергії в фотоелектричних модулях

Умова	% від максимальної потужності сонячного випромінювання
Яскраве Сонце – панелі установлені перпендикулярно сонячним променям	100
Невелика хмарність	60-80
Хмарна погда	20-30
За віконним склом, один шар, скло та модуль знаходяться перпендикулярно сонячним променям	91
За віконним склом, 2 шара, скло та модуль перпендикулярні сонячним променям	84
За віконним склом, один шар, скло та модуль знаходяться під кутом 45 градусів сонячним променям	64
Штучне світло всередині яскравого приміщення	1,3
Штучне світло в офісі, на поверхні письмового стола	0,4
Штучне світло всередині житлового приміщення	0,2

1.5 Методи орієнтування сонячних батарей

Існує три метода контролю положення сонячних панелей [10]:

- за допомогою керування вручну (оператор задає напрямок);
- пасивний спосіб – панелі направляються за допомогою заданого алгоритму;
- активний спосіб – відбувається за допомогою сенсора на максимальний потік світлового випромінювання.

В системах з ручним наведенням панелей, керування кутом нахилу відбувається за допомогою оператора. Оператор керує за допомогою пульта, який керує одразу усіма панелями синхронно. В даному випадку точність наведення залежить виключно від навичок оператора, а від точності наведення залежить кількість виробленої енергії за день [11].

В пасивних системах контролю працює наступний принцип: керування панелями відбувається за допомогою заданого алгоритму, який розробляється індивідуально для кожної місцевості. Параметри алгоритму залишаються незмінними. Під час розробки алгоритму роботи використовуються такі величини як: географічна широта місцевості, зміна висоти сонцестояння на протязі дня і на протязі всього року, тривалість кожного із днів року.

Також для використання даних систем необхідно програмувати кожну станцію окремо, і тому такий метод позбавлений універсальності, для перепрограмування контролера необхідне втручання спеціалістів, відповідно збільшується ціна установки.

Найбільш перспективними являються системи активного контролю. На сьогоднішній день вони найбільш розповсюджені. На відміну від пасивних систем, активні працюють по принципу орієнтування панелі на максимальний потік світла, тобто на самий яскравий об'єкт на небі. Перспективні такі системи тому що потребують мінімум втручання під час роботи, і є універсальними.

1.6 Склад сонячного трекара

Сонячний трекара складається з:

- несущої конструкції, яка складається з нерухомої та рухомої частин, рухома має одну або дві осі, рисунок 1.5;

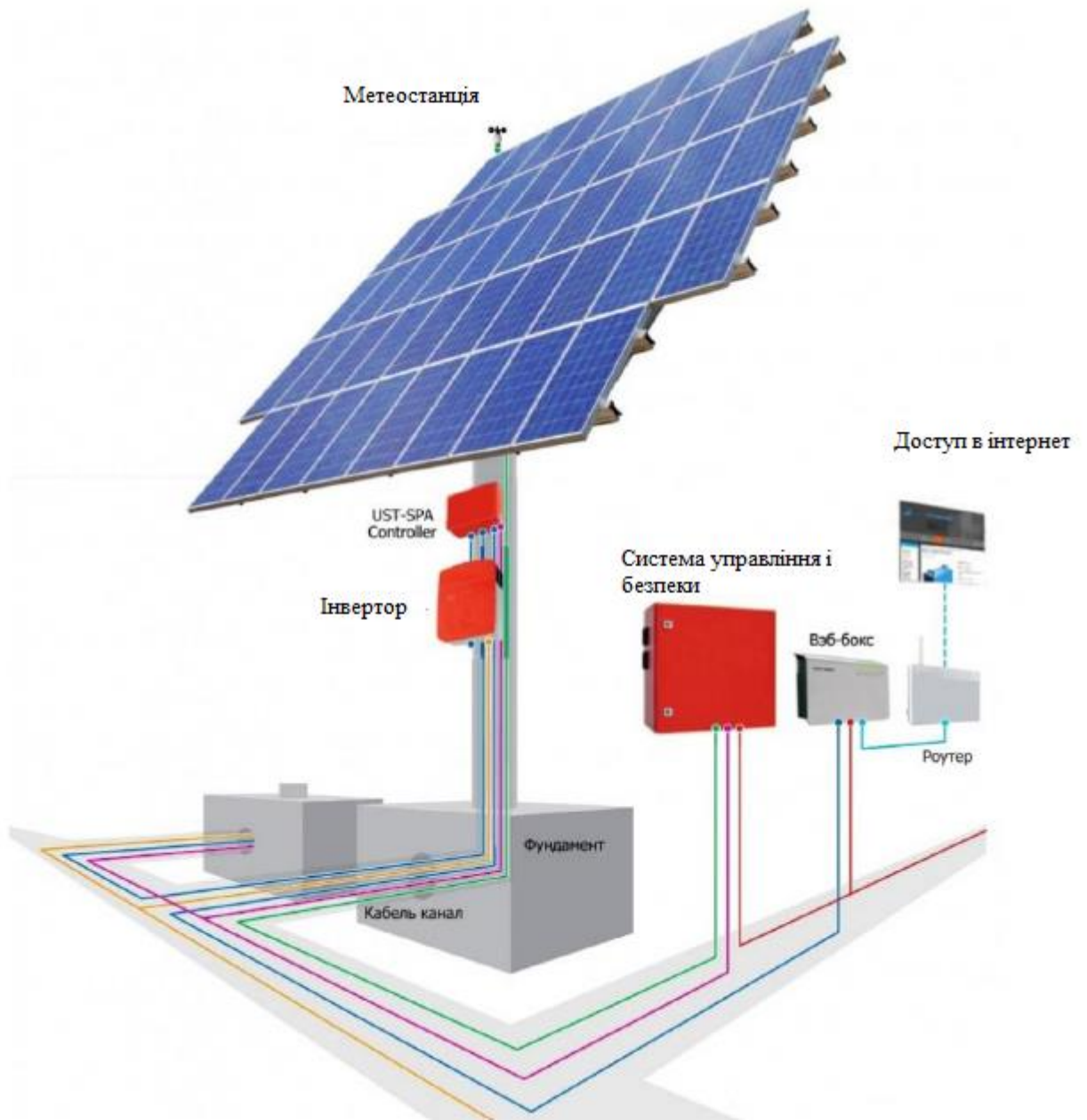


Рисунок 1.5 – Базовий склад сонячного трекера

- системи позиціонування рухомої частини трекера, яка складається з механічного приводу та пристрою керування;
- систему керування та інтерфейс, призначені для налаштування, контролю та обслуговування;
- система безпеки, яка включає в себе:
 - 1) стабілізатори;
 - 2) захист від грози;

3) захист від перевантажень;

4) метеорологічну станцію, яка потрібна для попередження системи про несприятливі погодні умови (сніг, град, зледеніння, сильний вітер). Система аналізує данні з метеостанції та переорієнтовує трекер таким чином щоб несприятливі умови не нашкодили системі, в період їх дії;

- система віддаленого доступу – призначена для керування та спостереження за параметрами системи;

- інвертор – перетворює корисну енергію з сонячних панелей в змінний струм з потрібними характеристиками, та передає енергію на приймальну станцію, або споживачам. Також ця система живить і сам трекер. Інвертори виготовляються двох типів: в водозахисному корпусі, для установки в польових умовах та в звичайних корпусах, які встановлюють в приміщеннях.

- система навігації – для отримання даних про географічне положення системи, висоти над рівнем моря. Таку систему встановлюють частіше всього на мобільних електростанціях, так як на стаціонарних немає потреби в її установці.

Не всі сонячні електростанції комплектуються всіма вищезазначеними модулями, так як в деяких випадках це економічно недоцільно. Конструкція трекера повинна витримувати різноманітні погодні умови. При збільшенні робочої поверхні збільшується парусність установки та вага. Тому при проектуванні часто доводиться перерозподіляти навантаження на трекер, із-за чого збільшуються габарити системи, так як самим важливим фактором є надійність конструкції [9].

1.7 Принцип дії трекера

Рухома частина трекера змінює положення за допомогою привода (механічного та ручного). Механічна частина виконана на одному або двох актуаторах – виконавчих пристроях, що приводяться в дію за допомогою крокового електродвигуна.

Основною задачею трекера є орієнтування робочої поверхні сонячних модулів перпендикулярно сонячним променям.

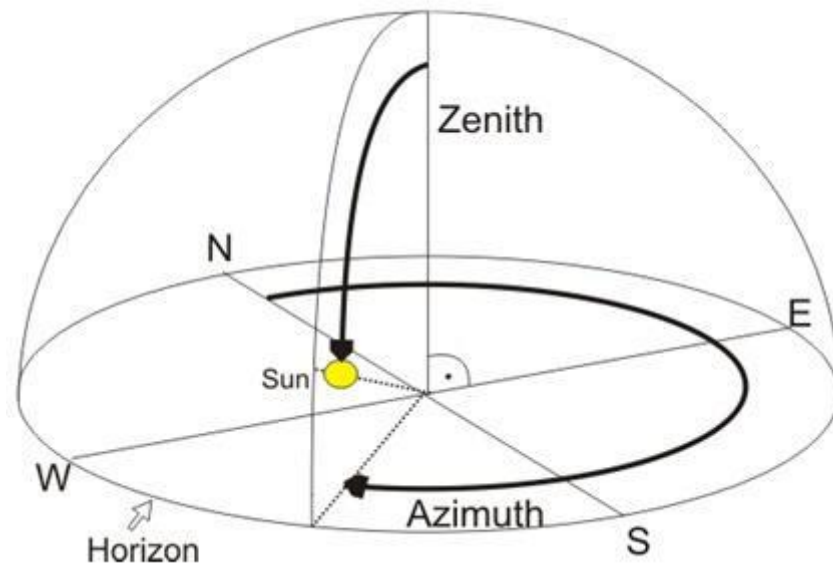


Рисунок 1.6 – Зеніт та азимут

Існує декілька методів щоб отримати таку орієнтацію, як показано на рисунку 1.6. Система керування актуаторами за допомогою інформації з декількох фотоприймачів аналізує напрямок падіння променів, і якщо потік іде не перпендикулярно до робочої поверхні, то активуються актуатори, які повертають панелі до тих пір поки освітленість всіх сенсорів не буде однаковою, а отже і робоча поверхня буде знаходитись перпендикулярно напрямку Сонця. Такий алгоритм працює на протязі усього дня. Але дана система має суттєвий недолік: при забрудненні сенсорів, в хмарну погоду, під час опадів, із-за сніжного покриву система не працює, або працює некоректно. В такому випадку систему можна переорієнтувати вручну або керуючи актуаторами, подаючи сигнал керування за допомогою перемикачів. Але такий спосіб актуальний для сезонного орієнтування панелей (на рисунку 1.6 зображений як Zenith), які встановлені на трекер в якого тільки одна робоча

вісь. Точність орієнтування в таких випадках відносно невелика, тому такий метод мало розповсюджений, і підходить радше для малобюджетних систем.

Керування трекером можливо за допомогою пристрою курування, до складу якого входить таймер. В такому випадку актуатори працюють по добовій програмі, або по програмі складеній на весь рік. В такому випадку точність керування панелями не така велика, але знаходиться в межах норми, при умові точної настройки та правильної установки.

Встановлювати тільки добову програму керування недоцільно, так як влітку в наших широтах зенітний кут невеликий, взимку ж сонце йде поблизу горизонту і, відповідно, зенітний кут великий.

На даний момент найбільш ефективним є метод керування актуаторами за допомогою програми, яка в певні проміжки часу розраховує місцезнаходження Сонця. По внутрішньому годиннику контролера програма видає на блок керування інформацію про значення положення Сонця по азимуту та зеніту. Програма враховує GPS-координати трекера (широта, довгота, висота відносно рівня моря). Після чого виконуючим пристроєм проводиться переорієнтація трекера в розраховане положення. Програма для розрахунку положення Сонця називається – алгоритм сонячної позиції SPA.

Пристрої керування трекерами можуть бути різних типів, наприклад створюються на основі захищених комп'ютерів, в вигляді закінчених пристроїв, запрограмованих при виробництві, з прив'язкою до конкретної місцевості; або можуть бути створені на основі програмованих логічних контролерів.

Один комп'ютер може працювати одночасно з багатьма трекерами, завдяки чому знижується вартість обладнання в цілому [12].

1.8 Висновки

Розглянуто найбільш розповсюджені методи підвищення ефективності роботи СБ.

Обґрунтовано використання системи орієнтування СБ для більш ефективного використання енергії Сонця.

Описано вплив зовнішніх чинників на ефективність роботи фотоперетворювачів.

Приведено методи орієнтації сонячного трекера, склад установки системи орієнтування , та принцип роботи.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ

2.1 Раціональне використання сонячної енергії

Система контролю скеровує панелі в напрямку Сонця по денній та річній програмах, тому траєкторія переміщення Сонця на протязі кожного дня в році і являється вхідною характеристикою системи контролю. Земля рухається по траєкторії схожій на еліпс (рисунок 2.1) і один оберт навколо Сонця триває один рік, внаслідок чого змінюються пори року, та тривалість світлового дня. Зміна положення Сонця по рівню зеніта визначається явищем прецесії, тобто ось обертання Землі змінює свій напрямок в просторі, що зображено на рисунку 2.2. Також Земля обертається навколо своєї осі на протязі доби, за добу відбувається один повний оберт, що є причиною руху Сонця від сходу до заходу.

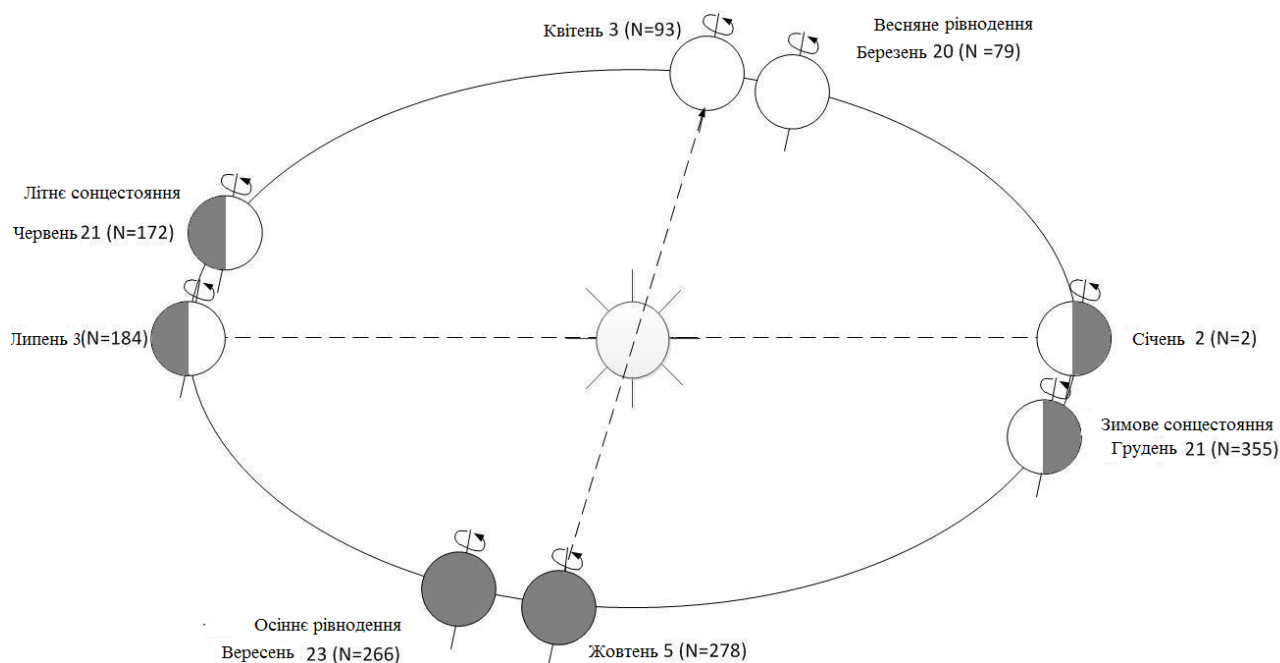


Рисунок 2.1 – Рух Землі навколо Сонця протязі року

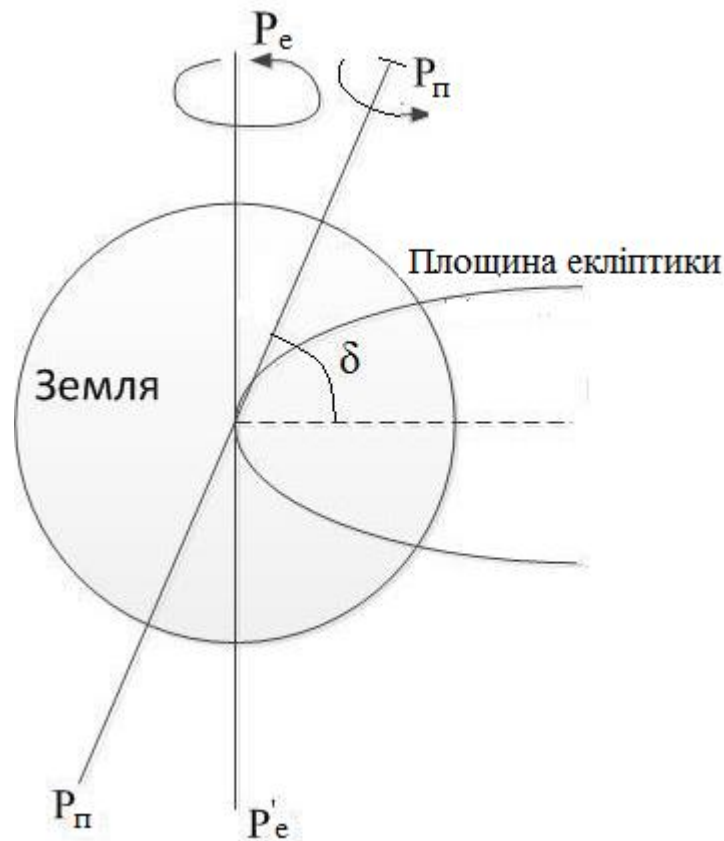
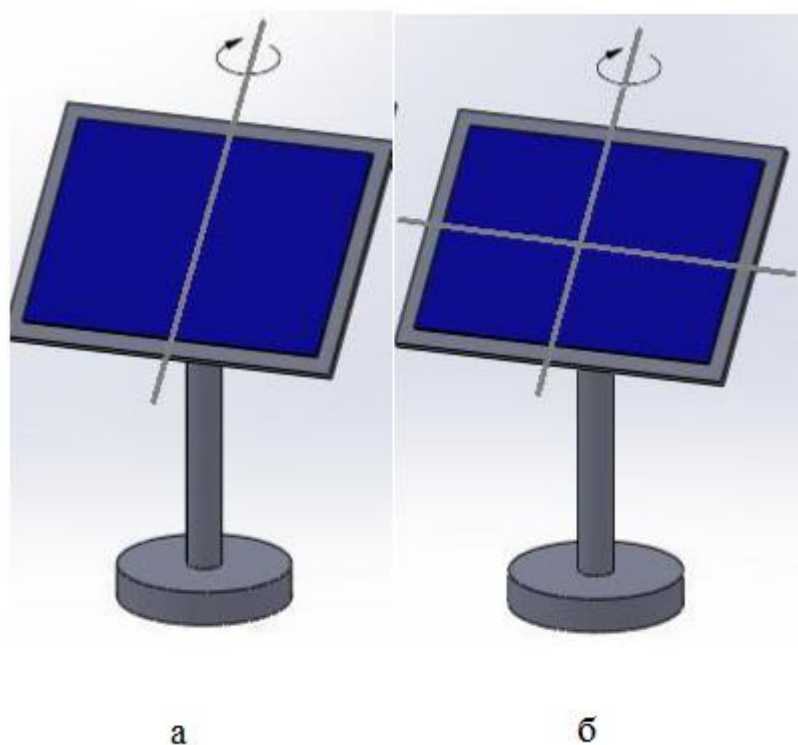


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення прецесії земної осі

За добу наша планета робить оберт на 360 градусів, однак сонячні панелі будуть виробляти електроенергію тільки тоді коли Сонце знаходиться на небосхилі. Тривалість перебування Сонця на небосхилі змінюється в залежності від широти та пори року та місця установки сонячних панелей. Необхідно враховувати дві умови зміни висоти Сонця за порами року. Положення Сонця описується по двох кутах – зеніт та азимут. Азимут – це кут між напрямками півночі та проекцією Сонця на горизонтальну площину Землі. Висоту сонцестояння описує зенітний кут. Значення азимута змінюються на протязі доби, це відбувається завдяки обертання планети навколо своєї осі (часовий кут). Зенітний кут змінюється на протязі року завдяки процесу прецесії осі Землі. Звідси випливає, що під час проектування системи стеження необхідно враховувати що рух Сонця відбувається в двох напрямках: щоденний рух зі сходу на захід та сезонний рух, тобто переміщення по осі екліптики.

Контроль за положенням Сонця відбувається за допомогою одно або двохосної системи стеження (рисунок 2.3)



а – одноосна зенітальна; б – двохосна

Рисунок 2.3 – Система контролю

Одноосні системи повертають панелі тільки в напрямку схід-захід. Для отримання найбільшої ефективності в системах по рівню екліптики, другу ось виставляють по рівню паралельному земній осі, тобто в напрямку півдня під певним кутом до горизонту, який регулюється в залежності від широти та пори року [13]. Це зображено на рисунку 2.4.

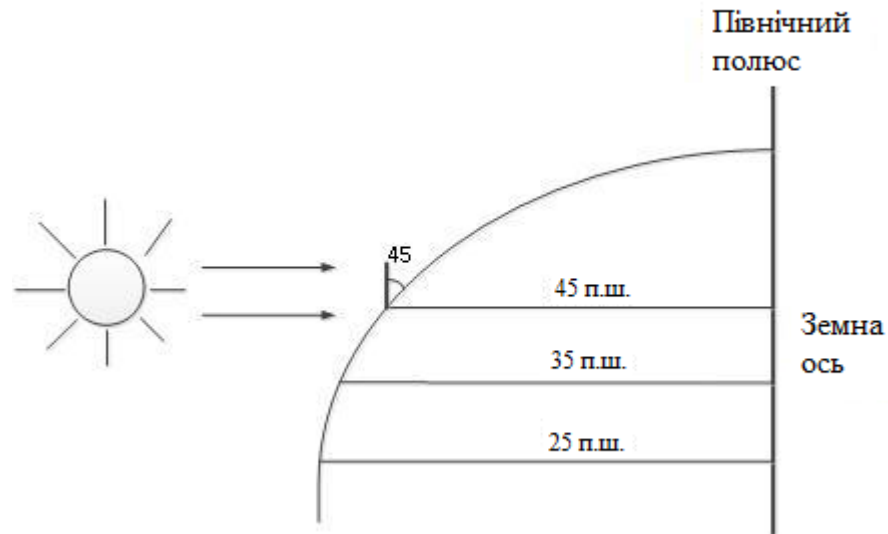


Рисунок 2.4 – Розташування сонячних панелей відносно горизонту

Двосторонні трекери АСУ контролюють положення Сонця по двом площинам: азимуту та по вертикалі, що забезпечує точну орієнтацію поверхні панелей відносно Сонця на протязі доби. Трекери з двома осями орієнтування найбільш ефективні але дорогі в порівнянні одноосними, тому що мають більш складну конструкцію. Тому наслідуючи ціль здешевлення конструкції часто використовують систему з одною віссю, а другу вісь виставляють як було сказано вище.

2.2 Математична модель роботи системи стеження за Сонцем

Для початку потрібно провести розрахунок потужності сонячного випромінювання, що надходить на протязі дня, після чого потрібно зробити розрахунок потужності, що виробляють сонячні панелі. Потік прямої сонячної радіації $Sr_{пр}$ на поверхню, розташовану під кутом β до цього потоку дорівнює:

$$Sr_{пр} = Sr_{max} \cdot K_{ат} \cdot \cos \beta, \quad (2.1)$$

де Sr_{\max} – кількість сонячної радіації, що потрапляє на Землю.

Ця величина є фіксована і дорівнює 1325 Вт/м^2 . Під час розрахунків треба враховувати що близько 30-35% енергії Сонця відбивається від атмосфери, тому на поверхні Землі цей показник становить $Sr_{\max} = 925 \text{ Вт/м}^2$,

β – приведений кут падіння променів Сонця на поверхню інсоляції,

$K_{\text{ат}}$ – коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку проходять променя на шляху від Сонця до поверхні Землі.

$$K_{\text{ат}} = 1.1254 - \frac{0.1366}{\sinh c}, \quad (2.2)$$

$$\cos \beta = \sinh c \cdot \cos \alpha + \cosh c \cdot \sin \alpha, \quad (2.3)$$

де α – кут нахилу робочої площини панелі до горизонту, $K_{\text{ат}}$;

h_c – кут, що визначає висоту Сонця д горизонтом в даний момент.

Вісь Землі відхиляється від перпендикуляра в бік площини екліптики на кут $23^\circ 27'$, тому півроку в бік Сонця нахилена одна земна півкуля, а іншу половину року до Сонця направляється протилежна півкуля Землі, це зображено на рисунку 2.1.

Наприклад, в день осіннього рівнодення опівдні висота Сонця рівна $h = 90^\circ - \theta$, де θ – географічна широта. Опівдні в день літнього сонцестояння висота прийме максимальне значення $h_{\max} = 90^\circ - \theta + 23^\circ 27'$, в цей день тривалість світлового дня максимальна. В день весняного рівнодення, так само як і в день осіннього рівнодення, тривалість дня та ночі однакова, при цьому висота сонцестояння опівдні буде рівна $h = 90 - \theta$. В день зимового сонцестояння опівдні висота Сонця має найменше значення $h_{\min} = 90^\circ 27'$, при цьому тривалість світлового дня найменша в році.

Визначимо вираз для висоти сонцестояння h_c :

$$v_z = 90^\circ - h_c, \quad (2.4)$$

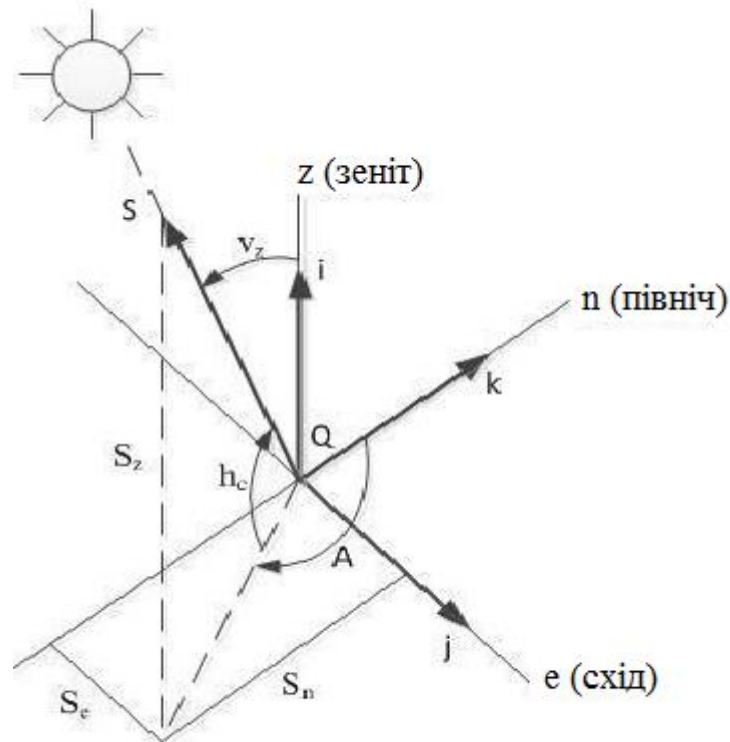


Рисунок 2.5 – Сонячний кут для наглядча

У векторних позначеннях S можна записати в наступному вигляді:

$$S = S_z i + S_e j + S_n k, \quad (2.5)$$

де i, j, k – одиничні вектори вздовж осей зеніт (z), схід (e), північ (n).

З точки зору висоти та сонячного азимута, S можна записати у вигляді:

$$S_z = \sin(h_c),$$

$$S_e = \cos(h_c) \sin(A), \quad (2.6)$$

$$S_n = \cos(h_c) \cos(A)$$

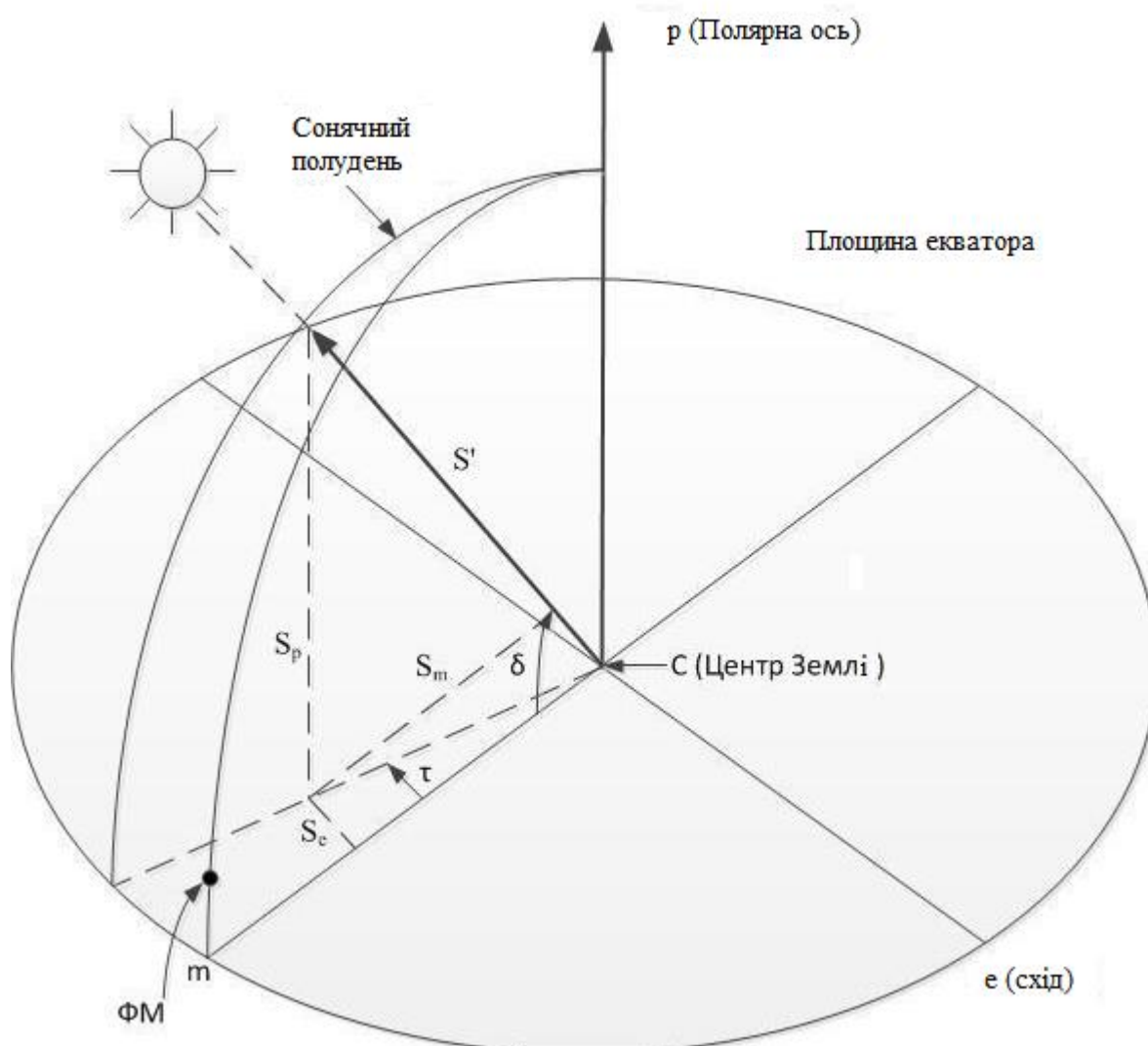


Рисунок 2.6 – Геометрія сонячного кута

В геоцентричній системі координат, що зображена на рисунку 2.6 ось m перетинає середину Землі та точку перетину між місцевим меридіаном та екваторіальною площиною. Ось p – нормаль екваторіальної площини яка перетинає північний полюс. Ось e знаходиться перпендикулярно осі m і лежить

в екваторіальній площині. Введемо новий сонячний вектор S' , який може бути описаний за допомогою кута сонячного схилу та часового кута:

$$\begin{aligned} S' &= S_m \mathbf{i} + S_e \mathbf{j} + S_n \mathbf{k}, \\ S_e &= \cos(\delta) \cos(\tau), \\ S_e &= \cos(\delta) \sin(\tau), \\ S_n' &= \sin(\delta), \end{aligned} \quad (2.7)$$

Геоцентрична та топоцентрична координати пов'язані між собою обертанням навколо вісі e через кут широти (φ).

$$\begin{array}{l} Sz \quad \cos(\theta) \quad 0 \quad \sin(\theta) \quad Sm \\ Se = \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad * Se \\ Sn \quad -\sin(\theta) \quad 0 \quad \cos(\theta) \quad Sy \end{array} \quad (2.8)$$

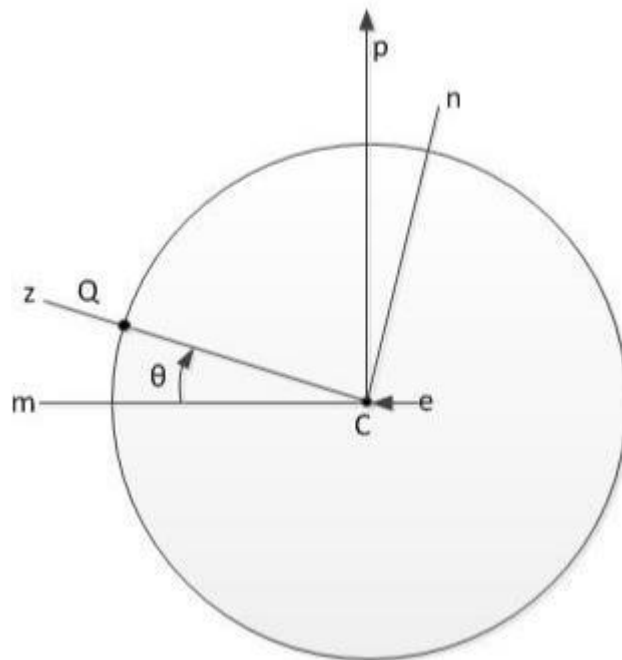


Рисунок 2.7 – Перетворення геоцентричних координат в топологічні

Якщо вирішити рівняння 2.8 та підставити в вираз 2.5 і 2.7, буде отримано:

$$\begin{cases} \sin(h_c) = \sin(\delta) + \cos(\sigma) \cos(\omega) \cos(\theta) \\ \cos(h_c) \sin(A) = -\cos(\sigma) \sin(\tau) \\ \cos(h_c) \cos(A) = \sin(\sigma) \cos(\theta) - \cos(\theta) \cos(\tau) \sin(\theta) \end{cases} \quad (2.9)$$

Виведемо h_c з системи рівнянь 2.9:

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta)) \quad (2.10)$$

Висота сонцестояння h_c залежить від величини нахилу Сонця δ , часового кута τ та широти місцезнаходження θ . Широта місцевості повинна співпадати з фактичним положенням установки. Залишилось визначити ще дві величини.

Тепер нам потрібно визначити кут нахилу Сонця. Для цього побудуємо графік зміни кута Сонця опівдні на протязі всього року. Для цього буде використана формула [14]:

$$\delta = 0.372 + \sum_{k=1}^3 [A_k \cdot \sin(kD) + B_k \cdot \cos(kD)], \quad (2.11)$$

де коефіцієнти k , A_k , і B_k відповідають значенням, що знаходяться в таблиці 2.1, а коефіцієнт D визначається за допомогою наступної формули:

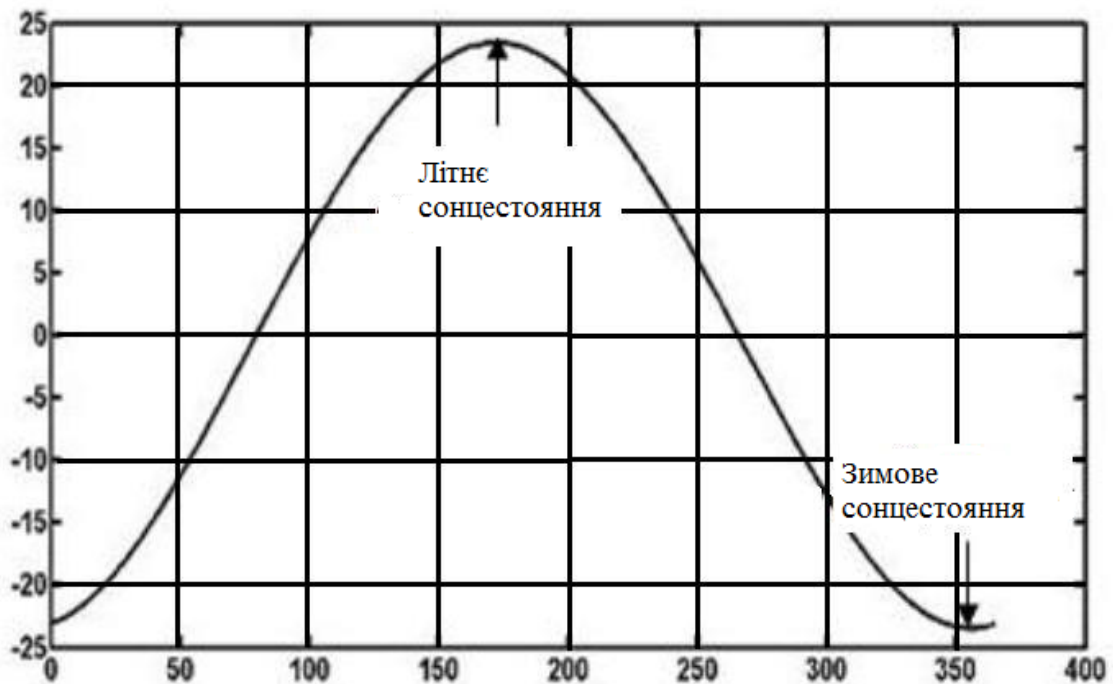
$$D = \frac{360}{362.5} \cdot (N - 79.346), \quad (2.12)$$

де N – порядковий номер дня року.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів k, Ak і Bk

k	A	B
1	23,2567	-0,758
2	0,1149	0,3656
3	-0,1712	0,0201

Кут



День року

Рисунок 2.8 – Графік кута нахилу Сонця

Як бачимо по графіку, кут нахилу Сонця змінюється на протязі року від -23,5 градусів до 23,5 градусів. Кут нахилу Сонця вираховується по наступній спрощеній формулі:

$$\delta = 23.5 \cdot \sin\left(\frac{365}{360} \cdot (81 - d)\right), \quad (2.13)$$

де d – порядковий номер дня року.

Далі проведемо розрахунок часового кута. Місцевий часовий кут має пряму залежність від місцевого сонячного часу:

$$\tau = 15(T_s - 12), \quad (2.14)$$

де τ – часовий кут, $^\circ$;

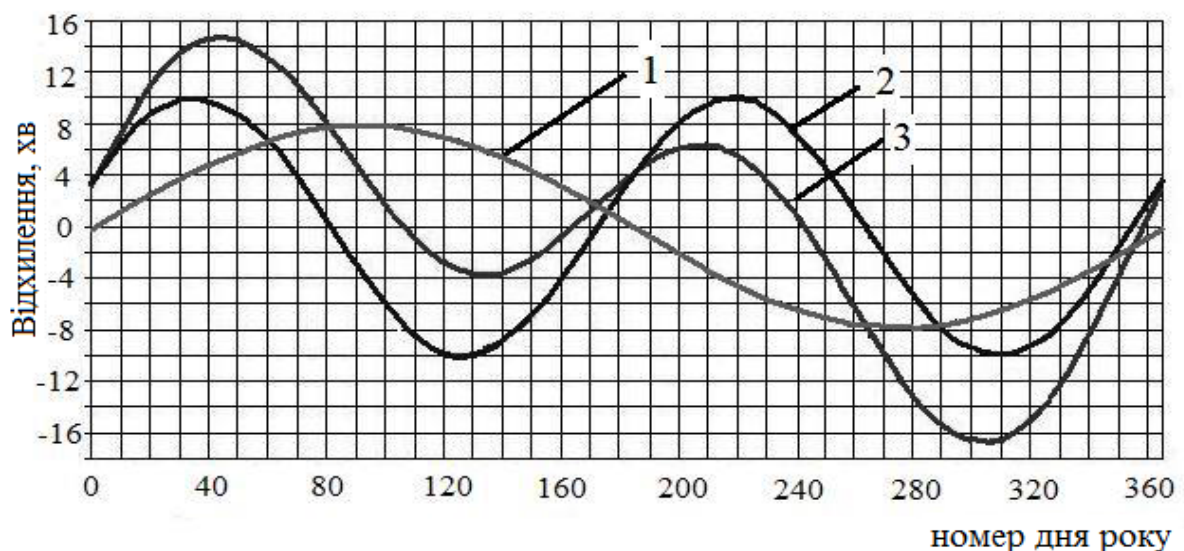
T_s – місцевий час, год.

Різниця між середнім та фактичним сонячним часом називається рівнянням часу. Різниця виникає із-за наступних причин:

- орбіта Землі має форму еліпса, і планета рухається по ній нерівномірно.

- з-за нахилу екліптики до екватора в час рівнодення проекція швидкості Сонця на екватор менше ніж в період сонцестояння, коли Сонце знаходиться паралельно до екватора.

Обидва відхилення мають вигляд синусоїди, що зображено на рисунку 2.9. Якщо додати уі два графіка то ми отримаємо графік рівняння часу.



1 – поправка, що викликана еліптичністю орбіти Землі, 2 – поправка, викликана нахилом екліптики, 3 – графік рівняння часу.

Рисунок 2.9 – Графіки поправок часу і рівняння часу

Як бачимо з графіка, що зображений на рисунку 2.9 сонячний час зміщується від істинного значення на 17 хвилин від середнього сонячного часу.

Вираз для знаходження рівняння часу, далі ЕОТ, буде мати вигляд:

$$EOT = 60 \sum_{k=1}^6 \left[A_k \cdot \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \cdot \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right], \quad (2.15)$$

де n – порядковий номер в циклі високосного року (від 1 до 1461),
 k , A і B – константи, їх значення знаходяться в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів k , A і B

k	A	B
1	$2,0870 \cdot 10^{-4}$	0
2	$9,2869 \cdot 10^{-3}$	$-1,2229 \cdot 10^{-1}$
3	$-5,2258 \cdot 10^{-2}$	$-1,5698 \cdot 10^{-1}$
4	$-1,3077 \cdot 10^{-3}$	$-5,1602 \cdot 10^{-3}$
5	$-2,1867 \cdot 10^{-3}$	$-2,9823 \cdot 10^{-3}$
6	$-1,5100 \cdot 10^{-4}$	$-2,363 \cdot 10^{-4}$

Залежність істинного значення сонячного часу та місцевого часу має вигляд:

$$T_s = T_l - \frac{EOT}{60} - P - LC, \quad (2.16)$$

де T_l – місцевий час;

P – поправка на перехід на літній час.

Під час дії літнього часу $P=1$, під час дії зимового часу $P=0$). Тобто на території України з листопада до кінця березня – зимовий час, з квітня по кінець жовтня – літній час.

LC можна вирахувати за допомогою формули:

$$LC = (M.d. - D.ст.м) / 15, \quad (2.17)$$

де $M.d.$ – місцева довгота;

$D.ст.м.$ – довгота стандартного меридіана.

Тепер ми описали вирази для всіх величин, що впливали на потік прямої сонячної енергії яка надходить на поверхню, що знаходиться під певним кутом до цього потоку.

Якщо використовувати двохосну САУ то панелі будуть постійно направлені на Сонце, тобто кут β робочою поверхнею та променями Сонця дорівнює 0, тоді:

$$Sr = Sr_{max} \cdot K_{am}, \quad (2.18)$$

Вираз потужності сонячного випромінювання, що приходить на фотомодуль при використанні одноосної системи контролю має вигляд:

$$Sr = Sr_{max} \cdot K_{am} \cdot \cos(\theta - h_c), \quad (2.19)$$

В такому випадку врахований кут нахилу поверхні панелей відносно горизонту. Розрахувати потужність випромінювання Сонця на нерухому поверхню, що була встановлена під кутом до горизонту можна використавши наступну формулу:

$$S_r = S_{r_{\max}} \cdot K_{\text{ам}} \cdot \cos(\theta - h_c) \cdot \cos(90 - \tau) \quad (2.20)$$

Формули 2.18–2.20 відображають залежність потужності що надходить на фотомодулі при використанні одно- та двохосної системи стеження, а також на поверхню нерухомих фотомодулів, що встановлені під кутом до горизонту.

Для оцінки ККД систем контролю необхідно порівняти потужності сонячних панелей, які працюють з використанням систем контролю положення, з потужностями панелей, які встановлені нерухомо. Для цього необхідно визначити залежність вихідної потужності фотоперетворювачів від потужності сонячного випромінювання, яке приходить на поверхню.

Для розрахунку потужності сонячних фотомодулів найпростішим методом, потрібно помножити коефіцієнт корисної дії на потужність сонячного випромінювання, що надходить на робочу поверхню сонячних панелей.

$$P_{\text{ФМ}} = S_{r_{\text{сп}}} \cdot \text{ККД} \cdot S_{\text{сп}} \quad (2.21)$$

де $S_{r_{\text{сп}}}$ – вироблена потужність сонячних панелей;

ККД – коефіцієнт корисної дії фотомодулів;

$S_{\text{сп}}$ – площа сонячних панелей.

Сукупність формул 2.1–2.21 відтворює математичну модель роботи сонячних фотомодулів на протязі дня. Наведена модель розрахунків може бути використана при моделюванні роботи сонячної електростанції, з ціллю оцінки потужності виробленої електроенергії, і розрахунку необхідної кількості сонячних батарей.

2.3 Розрахунок максимальної потужності сонячного випромінювання

Перед початком розрахунку максимальної потужності сонячного випромінювання потрібно визначити істинний сонячний час для Харкова.

Розглянемо ЕОТ для всіх місяців року. Можна скористатися формулою 2.15, але з ціллю спрощення розрахунків скористаємося готовими таблицями, так як ЕОТ не залежить від місцезнаходження. Таблиці знаходяться у вільному доступі.

Таблиця 2.3 – Значення ЕОТ для 1-го числа кожного місяця

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
ЕОТ	+3,4	+13,6	+12,5	+4,1	-2,9	-2,4	+3,6	+6,3	+0,2	-10,1	-16,4	-11,2

Згідно з формулою 2.16, залежність істинного значення сонячного часу та місцевого має вигляд:

$$T_s = T_l - \frac{EOT}{60} - P - LC,$$

де T_l – місцевий час,

P – поправка на літній час ($P=1$ з квітня по жовтень, $P=0$ з листопада по березень, так як ми беремо перше число кожного місяця).

Згідно з формулою 2.17:

$$LC = (M.d. - D.st.m.) / 15,$$

де $M.d.$ – місцева довгота,

$D.st.m.$ – довгота стандартного меридіана.

Для міста Харкова місцева довгота становить 36,15 східної довготи.

$$LC = 36,15 / 15 = 2,41^\circ.$$

Тепер відомі всі величини, розрахуємо T_s для кожного місяця:

$$Ts_1 = 12 - \frac{3,4}{60} - 2,41 = 9,533$$

$$Ts_2 = 12 - \frac{13,6}{60} - 2,41 = 9,363$$

$$Ts_3 = 12 - \frac{12,5}{60} - 2,41 = 9,382$$

$$Ts_4 = 12 - \frac{4,1}{60} - 2,41 = 9,522$$

$$Ts_5 = 12 - 1 - \frac{3,4}{60} - 2,41 = 8,533$$

$$Ts_6 = 12 - 1 + \frac{2,9}{60} - 2,41 = 8,638$$

$$Ts_7 = 12 - 1 + \frac{2,4}{60} - 2,41 = 8,63$$

$$Ts_8 = 12 - 1 - \frac{3,6}{60} - 2,41 = 8,53$$

$$Ts_9 = 12 - 1 - \frac{0,2}{60} - 2,41 = 8,587$$

$$Ts_{10} = 12 - 1 + \frac{10,1}{60} - 2,41 = 8,758$$

$$Ts_{11} = 12 + \frac{16,4}{60} - 2,41 = 9,863$$

$$Ts_{12} = 12 + \frac{11,2}{60} - 2,41 = 9,777$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Значення істинного сонячного часу в залежності від місяців року

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Ts,год	9,533	9,363	9,382	9,522	8,533	8,638	8,63	8,53	8,587	8,758	9,863	9,777

Далі розрахуємо місцевий часовий кут. Згідно з формулою 2.14 він знаходиться в лінійній залежності від Ts.

$$\tau = 15(12 - Ts)^\circ$$

$$t_1 = 15 \cdot (12 - 9,533) = 37,005$$

$$t_2 = 15 \cdot (12 - 9,363) = 39,555$$

$$t_3 = 15 \cdot (12 - 9,382) = 39,27$$

$$t_4 = 15 \cdot (12 - 9,522) = 37,17$$

$$t_5 = 15 \cdot (12 - 8,533) = 52,005$$

$$t_6 = 15 \cdot (12 - 8,638) = 50,43$$

$$t_7 = 15 \cdot (12 - 8,63) = 50,55$$

$$t_8 = 15 \cdot (12 - 8,53) = 52,05$$

$$t_9 = 15 \cdot (12 - 8,587) = 51,195$$

$$t_{10} = 15 \cdot (12 - 8,758) = 48,63$$

$$t_{11} = 15 \cdot (12 - 9,863) = 32,005$$

$$t_{12} = 15 \cdot (12 - 9,777) = 33,345$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Значення місцевого часового кута по місяцям року

Міс	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
τ°	37,005	39,555	39,27	37,17	52,005	50,43	50,55	52,05	51,195	48,63	32,005	33,345

Визначимо кут нахилу Сонця. Для цього використаємо формулу 2.14:

$$\delta = 23,5 \cdot \sin((365 / 360) \cdot (81 - d)) ,$$

де d порядковий номер дня року.

$d=1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 244, 274, 305,$

$$\sigma_1 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_1 - 81) \text{deg}\right) = -23,218$$

$$\sigma_2 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_2 - 81) \text{deg}\right) = -17,918$$

$$\sigma_3 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_3 - 81) \text{deg}\right) = -8,533$$

$$\sigma_4 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_4 - 81) \text{deg}\right) = 4,137$$

$$\sigma_5 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_5 - 81) \text{deg}\right) = 15,279$$

$$\sigma_6 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_6 - 81) \text{deg}\right) = 22,348$$

$$\sigma_7 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_7 - 81) \text{deg}\right) = 22,952$$

$$\sigma_8 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_8 - 81) \text{deg}\right) = 16,952$$

$$\sigma_9 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_9 - 81) \text{deg}\right) = 5,978$$

$$\sigma_{10} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{10} - 81) \text{deg}\right) = -6,351$$

$$\sigma_{11} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{11} - 81) \text{deg}\right) = -17,218$$

$$\sigma_{12} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (d_{12} - 81) \text{deg}\right) = -22,945$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Значення кута нахилу Сонця по місяцях року

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Гра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
δ°	-23,22	-17,9	-8,53	4,14	15,18	22,35	22,95	16,95	5,98	-6,35	-17,21	-22,94

Згідно з формулою 2.10, висота сонцестояння h_c залежить від величини нахилу Сонця δ , часового кута τ та широти місцевості θ . Широта місцевості відповідає географічному положенню фотоелементів.

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \cdot \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta))$$

$$x_1 = \sin(\sigma_1 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_1 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_1 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,198$$

$$x_2 = \sin(\sigma_2 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_2 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_2 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,262$$

$$x_3 = \sin(\sigma_3 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_3 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_3 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,402$$

$$x_4 = \sin(\sigma_4 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_4 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_4 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,585$$

$$x_5 = \sin(\sigma_5 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_5 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_5 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,593$$

$$x_6 = \sin(\sigma_6 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_6 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_6 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,677$$

$$x_7 = \sin(\sigma_7 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_7 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_7 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,681$$

$$x_8 = \sin(\sigma_8 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_8 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_8 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,663$$

$$x_9 = \sin(\sigma_9 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_9 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_9 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,669$$

$$x_{10} = \sin(\sigma_{10} \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_{10} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_{10} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,655$$

$$x_{11} = \sin(\sigma_{11} \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_{11} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_{11} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,775$$

$$x_{12} = \sin(\sigma_{12} \cdot \text{deg}) \cdot \sin(48 \cdot \text{deg}) + \cos(\sigma_{12} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(t_{12} \cdot \text{deg}) \cdot \cos(48 \cdot \text{deg}) = 0,533$$

$$hc_1 = x_1 \frac{180}{\pi} = 11,351$$

$$hc_2 = x_2 \frac{180}{\pi} = 15,026$$

$$hc_3 = x_3 \frac{180}{\pi} = 23,034$$

$$hc_4 = x_4 \frac{180}{\pi} = 35,542$$

$$hc_5 = x_5 \frac{180}{\pi} = 33,987$$

$$hc_6 = x_6 \frac{180}{\pi} = 38,778$$

$$hc_7 = x_7 \frac{180}{\pi} = 39,036$$

$$hc_8 = x_8 \frac{180}{\pi} = 34,967$$

$$hc_9 = x_9 \frac{180}{\pi} = 28,329$$

$$hc_{10} = x_{10} \frac{180}{\pi} = 20,473$$

$$hc_{11} = x_{11} \frac{180}{\pi} = 18,433$$

$$hc_{12} = x_{12} \frac{180}{\pi} = 12,893$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.7

Таблиця 2.7 – Значення рівня сонцестояння в залежності від місяця

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
h_c	11,351	15,026	23,034	35,542	33,987	38,778	39,036	34,967	28,329	20,473	18,433	12,893

Далі потрібно розрахувати K_{am} – коефіцієнт поправки на повітряну масу, через яку проходять промені Сонця.

Розрахуємо згідно з формулою 2.2:

$$K_{am} = 1,1254 - (0,1366 / \sin(hc))$$

$$\text{Kam}_1 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_1} \right) = 0,436$$

$$\text{Kam}_2 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_2} \right) = 0,605$$

$$\text{Kam}_3 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_3} \right) = 0,786$$

$$\text{Kam}_4 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_4} \right) = 0,892$$

$$\text{Kam}_5 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_5} \right) = 0,895$$

$$\text{Kam}_6 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_6} \right) = 0,924$$

$$\text{Kam}_7 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_7} \right) = 0,925$$

$$\text{Kam}_8 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_8} \right) = 0,902$$

$$\text{Kam}_9 = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_9} \right) = 0,849$$

$$\text{Kam}_{10} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{10}} \right) = 0,743$$

$$\text{Kam}_{11} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{11}} \right) = 0,701$$

$$\text{Kam}_{12} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x_{12}} \right) = 0,518$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.8

Таблиця 2.8 – Значення коефіцієнта поправки на повітряну масу по місяцям року

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Кам	0,436	0,605	0,786	0,892	0,895	0,924	0,925	0,902	0,849	0,743	0,701	0,518

Якщо використовувати систему контролю з двома робочими осями, то робоча поверхня сонячних панелей буде на протязі всього дня направлена на Сонце, а отже кут β між нормаллю робочої поверхні та променями Сонця дорівнюватиме 0.

Згідно з формулою 2.18:

$$Sr = Sr_{\max} \cdot K_{\text{am}}$$

$$Srd_1 = Sr_{\max} \cdot Kam_1 = 436,766$$

$$Srd_2 = Sr_{\max} \cdot Kam_2 = 605,753$$

$$Srd_3 = Sr_{\max} \cdot Kam_3 = 787,185$$

$$Srd_4 = Sr_{\max} \cdot Kam_4 = 893,845$$

$$Srd_5 = Sr_{\max} \cdot Kam_5 = 896,91$$

$$Srd_6 = Sr_{\max} \cdot Kam_6 = 925,416$$

$$Srd_7 = Sr_{\max} \cdot Kam_7 = 926,751$$

$$Srd_8 = Sr_{\max} \cdot Kam_8 = 903,377$$

$$Srd_9 = Sr_{\max} \cdot Kam_9 = 850,824$$

$$Srd_{10} = Sr_{\max} \cdot Kam_{10} = 744,591$$

$$Srd_{11} = Sr_{\max} \cdot Kam_{11} = 702,215$$

$$Srd_{12} = Sr_{\max} \cdot Kam_{12} = 519,405$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Значення виробленої потужності з використанням системи орієнтування з двома осями

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Sr_d	436,8	605,8	787,2	893,8	896,9	925,4	926,8	903,4	850,8	744,6	702,2	519,4

Згідно з формулою 2.19 для системи орієнтування з одною віссю:

$$Sr = Sr \max \cdot \cos(\theta - hc)$$

$$SrO_1 = Srd_1 \cdot (\cos((48 - hc_1) \text{ deg})) = 350,421$$

$$SrO_2 = Srd_2 \cdot (\cos((48 - hc_2) \text{ deg})) = 508,179$$

$$SrO_3 = Srd_3 \cdot (\cos((48 - hc_3) \text{ deg})) = 713,629$$

$$SrO_4 = Srd_4 \cdot (\cos((48 - hc_4) \text{ deg})) = 865,537$$

$$SrO_5 = Srd_5 \cdot (\cos((48 - hc_5) \text{ deg})) = 870,219$$

$$SrO_6 = Srd_6 \cdot (\cos((48 - hc_6) \text{ deg})) = 913,454$$

$$SrO_7 = Srd_7 \cdot (\cos((48 - hc_7) \text{ deg})) = 915,431$$

$$SrO_8 = Srd_8 \cdot (\cos((48 - hc_8) \text{ deg})) = 850,658$$

$$SrO_9 = Srd_9 \cdot (\cos((48 - hc_9) \text{ deg})) = 801,172$$

$$SrO_{10} = Srd_{10} \cdot (\cos((48 - hc_{10}) \text{ deg})) = 660,296$$

$$SrO_{11} = Srd_{11} \cdot (\cos((48 - hc_{11}) \text{ deg})) = 610,775$$

$$SrO_{12} = Srd_{12} \cdot (\cos((48 - hc_{12}) \text{ deg})) = 424,916$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.10

Таблиця 2.10 – Значення виробленої потужності з використанням системи орієнтування з однією віссю

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Sr _o	350,4	508,2	713,6	865,6	870,2	913,5	915,4	850,7	801,2	660,3	610,8	424,9

Вирахуємо потужність для панелей, що встановлені стаціонарно, згідно з формулою 2.20:

$$Sr = Sr \max \cdot K_{am} \cdot \cos(\theta - h_c) \cdot \cos(90 - \tau)$$

$$\begin{aligned}
\text{SrB}_1 &= \text{SrO}_1 \cdot \cos((90 - t_1) \text{ deg}) = 210,913 \\
\text{SrB}_2 &= \text{SrO}_2 \cdot \cos((90 - t_2) \text{ deg}) = 323,618 \\
\text{SrB}_3 &= \text{SrO}_3 \cdot \cos((90 - t_3) \text{ deg}) = 451,71 \\
\text{SrB}_4 &= \text{SrO}_4 \cdot \cos((90 - t_4) \text{ deg}) = 522,942 \\
\text{SrB}_5 &= \text{SrO}_5 \cdot \cos((90 - t_5) \text{ deg}) = 685,789 \\
\text{SrB}_6 &= \text{SrO}_6 \cdot \cos((90 - t_6) \text{ deg}) = 704,133 \\
\text{SrB}_7 &= \text{SrO}_7 \cdot \cos((90 - t_7) \text{ deg}) = 706,877 \\
\text{SrB}_8 &= \text{SrO}_8 \cdot \cos((90 - t_8) \text{ deg}) = 670,784 \\
\text{SrB}_9 &= \text{SrO}_9 \cdot \cos((90 - t_9) \text{ deg}) = 624,34 \\
\text{SrB}_{10} &= \text{SrO}_{10} \cdot \cos((90 - t_{10}) \text{ deg}) = 495,524 \\
\text{SrB}_{11} &= \text{SrO}_{11} \cdot \cos((90 - t_{11}) \text{ deg}) = 324,158 \\
\text{SrB}_{12} &= \text{SrO}_{12} \cdot \cos((90 - t_{12}) \text{ deg}) = 233,567
\end{aligned}$$

Занесемо отримані дані до таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Значення потужності по місяцям року при стаціонарній установці сонячних панелей

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Sr ₆	210,9	323,6	451,7	522,9	685,8	704,1	706,9	670,8	624,3	495,5	324,2	233,6

В таблиці 2.12 наведено середній місячний рівень сонячного випромінювання (сонячна пряма) в Харкові (кВт/м²/день). Це показник за останні 22 роки (згідно з даними NASA) [15]

Таблиця 2.12 – Значення сонячної інсоляції по місяцям

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	В серед.
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26

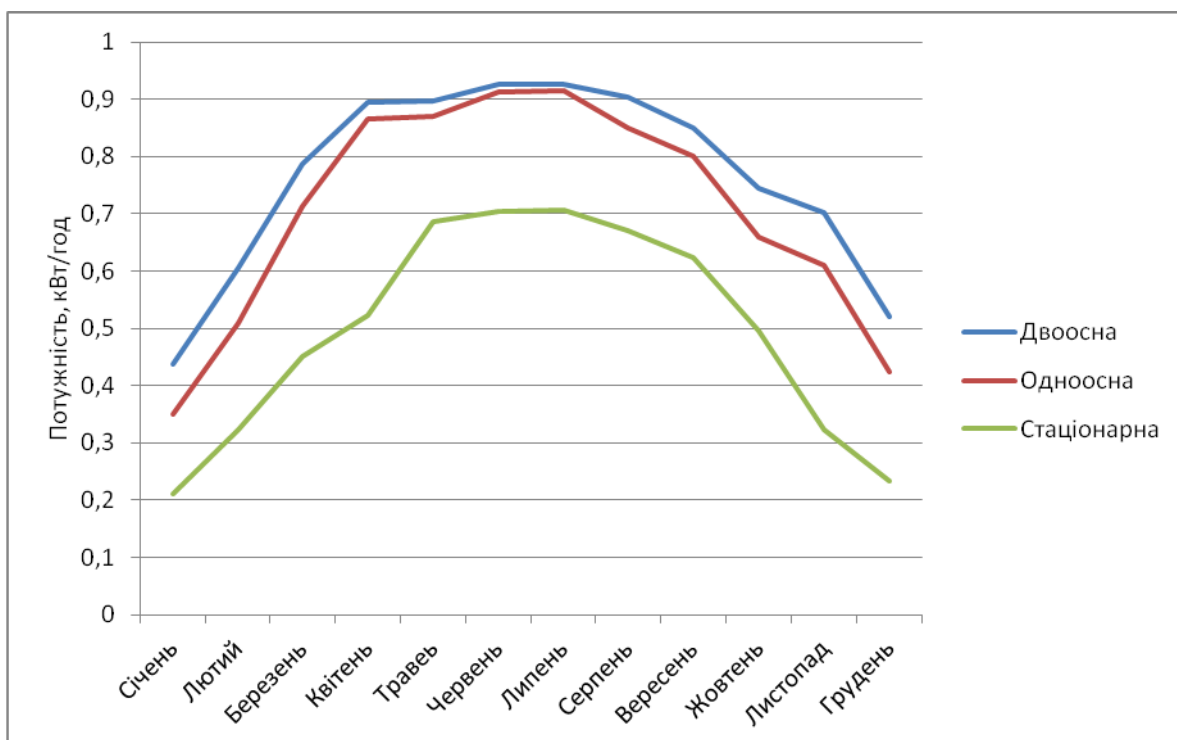


Рисунок 2.10 – Графік максимальної потужності на 1м² в залежності від дати

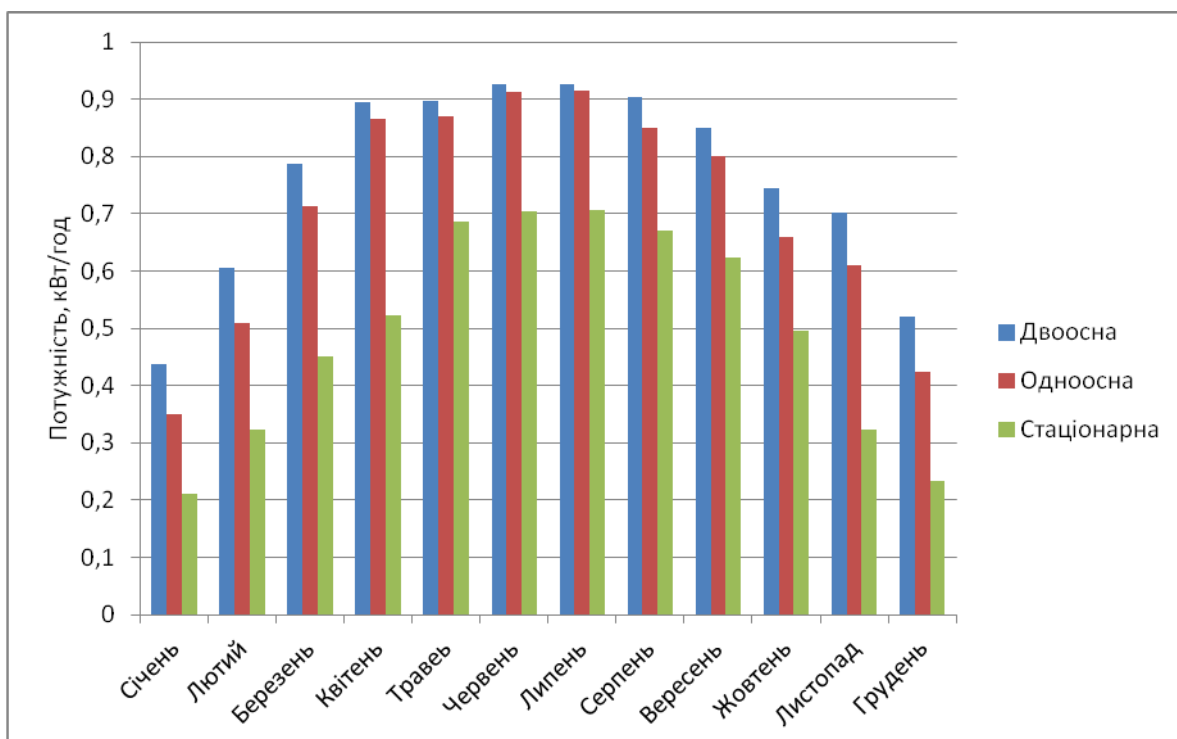


Рисунок 2.11 – Гістограма максимальної потужності на 1м² по місяцям року

Дивлячись на графіки стає одразу зрозуміло, що системи орієнтування проявляють найбільшу ефективність, в порівнянні зі стаціонарно установленими панелями, в зимовий період. Різниця між одноосною та двохосною системами в літній період практично непомітна, але з жовтня по кінець березня система з двома осями орієнтування дає приріст до 30 відсотків порівняно з одноосною системою орієнтування.

В сумі одноосна система орієнтування за рік підвищує ефективність вироблення енергії на 51 відсоток, а двохосна система – на 63 відсотка в порівнянні з панелями, що встановлені стаціонарно.

3 СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО СТЕЖЕННЯ ЗА ПОЛОЖЕННЯМ СОНЦЯ

3.1. Складові системи стеження за Сонцем

Сонце на протязі року здійснює переміщення не тільки зі сходу на захід, а й сезонне переміщення між південною і північною стороною, тому для найбільшої ефективності перетворення сонячної енергії в електричну потрібно використовувати систему стеження з двома осями орієнтування (рисунок 3.1). Двох координатне орієнтування організовується за допомогою актюаторів, крокових двигунів або серводвигунів (як в нашому випадку).

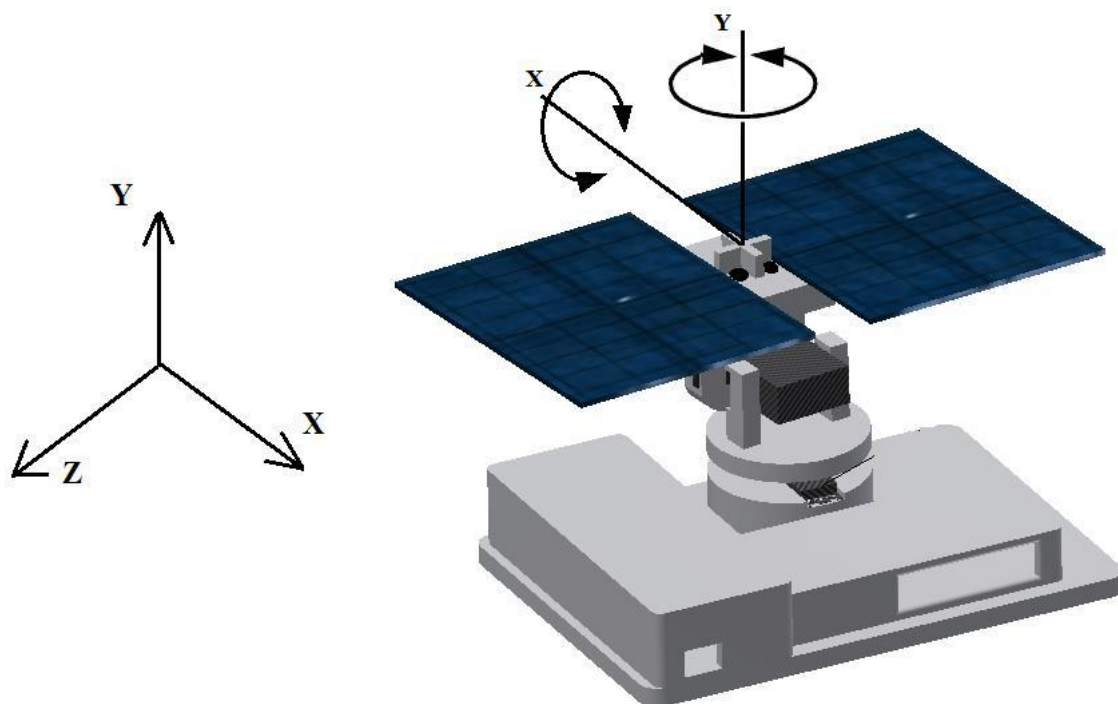


Рисунок 3.1 – 3D модель пристрою орієнтування сонячних панелей

Для отримання інформації про місцезнаходження Сонця потрібні сенсори сонячного випромінювання, наприклад фоторезистори. Працює такий сенсор наступним чином: в залежності від кількості світлової енергії, що потрапляє на фоторезистор, він змінює свій опір. Тобто більше світла – менше опір [16].

На рисунку 3.2 схематично зображено схематично фотосенсор на чотирьох фоторезисторах. В формі чорного перехрестя зображено перегородки між фоторезисторами які служать для обмеження потрапляння сонячних променів.

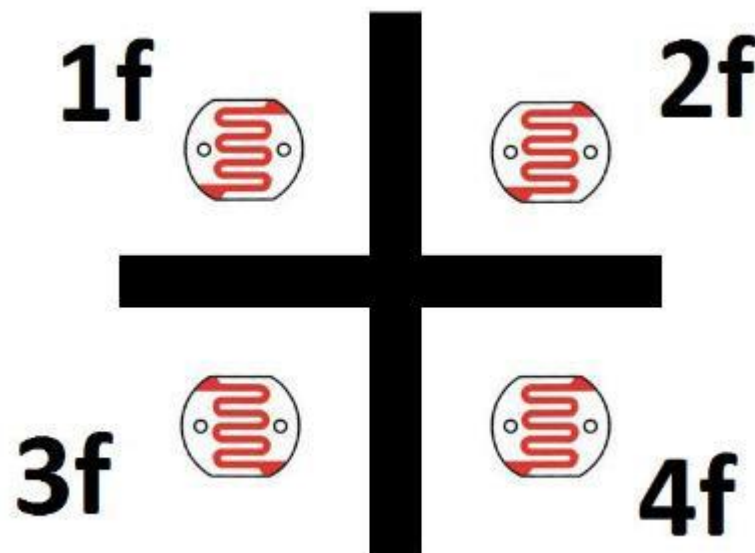


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення положення фоторезисторів на сенсорі

На даному рисунку індексами 1f, 2f, 3f і 4f підписані фоточутливі елементи. Якщо $1f + 2f < 3f + 4f$, тоді система повинна повертати сонячні панелі по осі Y по часовій стрілці. При комбінації $1f + 3f > 2f + 4f$ система повертає сонячні панелі навколо осі X по часовій стрілці.

Для керування даною системою можна використати мікроконтролер AtMega 328, який знаходиться на апаратній платформі Arduino UNO. Завдяки фотоприймачам мікроконтролер аналізує освітленість в різних положення

робочій поверхні та передає сигнали керування на сервоприводи. Сервоприводи будуть рухати робочу поверхню, на якій встановлений сенсор, до тих пір доки потоки світла на всіх фоторезисторах не зрівнюються.

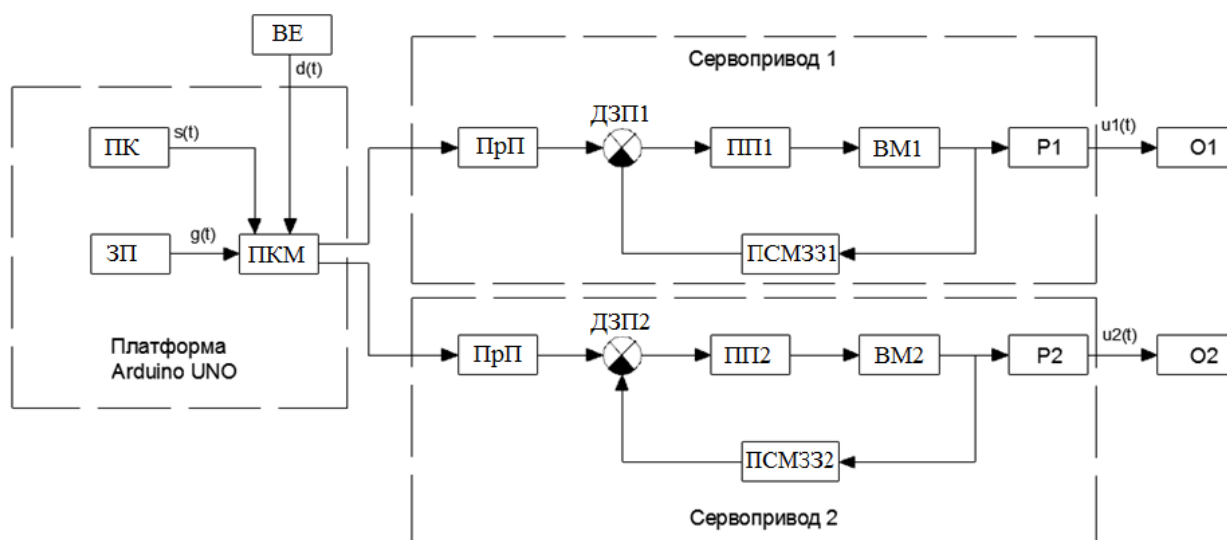


Рисунок 3.3 – Функціональна схема керування системи автоматичного регулювання положення робочої поверхні сонячних панелей

Опис функціональних блоків представлений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Функціональні блоки системи регулювання

Функціональний блок	Опис функціонального блока
ЗП	Задаючий генератор. Регулятор напруги.
ПК	Пульт керування.
ПрП	Пристрій перетворення. АЦП
ПКМ	Пристрій керування на мікроконтролері AtMega328.
ВЕ	Вимірювальний елемент регулювальної величини(фоторезистори).
ДЗП1, ДЗП2	Допоміжний зрівнюючий пристрій.

Продовження таблиці 3.1

Функціональний блок	Опис функціонального блока
ПП1, ПП2	Підсилювач потужності управляючого сигналу.
Р1, Р2	Регулюючий орган управління. Редуктор.
О1, О2	Об'єкт управління. Сонячні панелі.
ВМ1, ВМ2	Виконавчий механізм. Двигун.
ПСМ331, ПСМ332	Перетворювач сигналу місцевого зворотного зв'язку

На пристрій керування (ПКМ) подається напруга з регулятора напруги (ЗП) та в залежності від показників вимірювальних елементів регулювальної системи (ВЕ), при наявності сигналу з пульта керування (ПК), мікроконтролер надсилає сигнали на керування сервоприводами. В сервоприводах сигнали надходять на цифрові перетворювачі. Ділі сигнали потрапляють на допоміжні зрівнювальні пристрої (ДЗП1 і ДЗП2). Далі потенціомери вираховують різницю напруг вхідного сигналу та сигналів, що надходять по місцевому зворотному зв'язку з плати керування (ПСМ331, ПСМ332) .Після потенціометрів різниця напруг поступають на підсилювачі потужності (ПП1 і ПП2), а після них на виконавчі механізми (ВМ1 та ВМ2) – двигуни. З електродвигунів сигнали ідуть на перетворювачі (ПСМ331, ПСМ332), що знаходяться на платах керування, та на регулюючі органи керування – редуктори (Р1, Р2). Вали редукторів змінюють своє положення, завдяки чого змінюється положення сонячних панелей (О1 та О2).

3.2 Електропривод для регулювання сонячних панелей

Коректування положення сонячних панелей відбувається за допомогою електроприводів. Один з двигунів відповідає за регулювання по осі Х, інший –

по осі Y. В нашому випадку в якості електроприводів використані сервоприводи з негативним зворотним зв'язком. Такі приводи забезпечують регулювання сонячних панелей з високою точністю (рисунок 3.4).

Привід – редуктор з двигуном. Двигун використовується для перетворення електричної енергії в електричну. Але в даному випадку швидкість двигуна дуже велика тому використовується редуктор: механізм з шестерні, в яких перетворюється обертаючий момент [17].

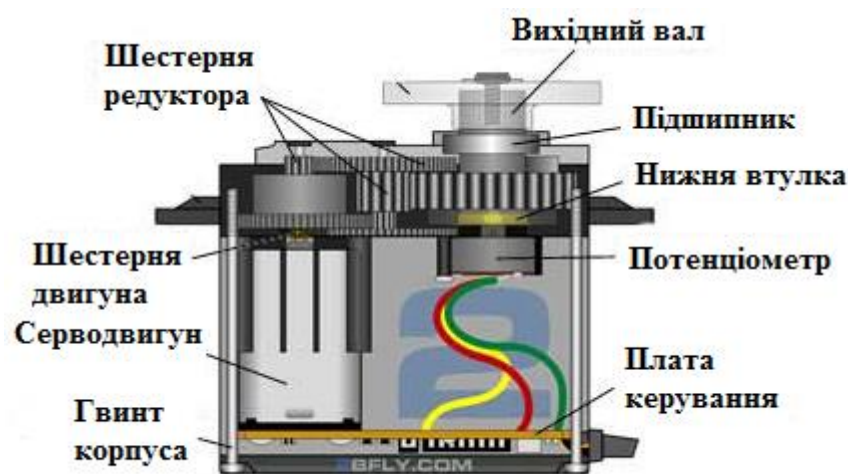


Рисунок 3.4 – Сервопривод

Для роботи сервопривода необхідно подавати на нього керуючий сигнал. Керуючий сигнал – це імпульси постійної частоти та змінної ширини [17]. Величина повороту залежить від довжини імпульсу. Коли керуючий сигнал потрапляє з мікроконтролера на плату керування, генератор плати керування виробляє свій імпульс, тривалість якого визначається за допомогою потенціометра. Інша частина схеми зрівнює ці імпульси, і якщо їх тривалість відрізняється, вмикається серводвигун [21]. Напрямок руху двигуна також визначається за допомогою порівняння, що наведено на рисунку 3.5.

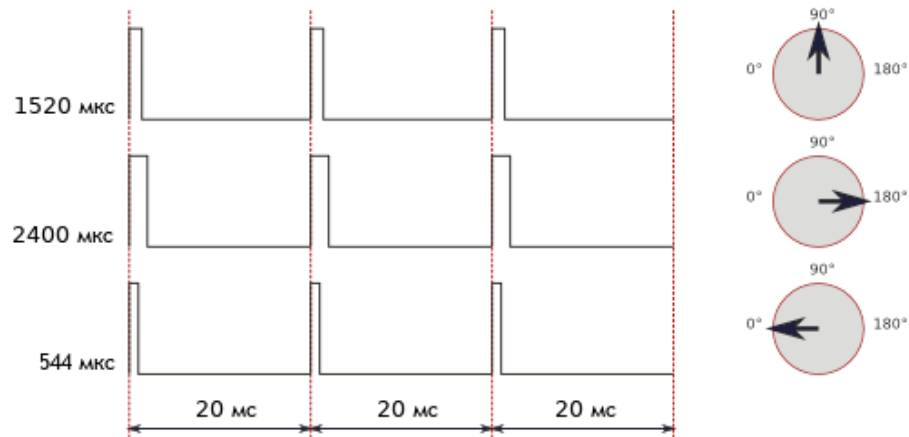


Рисунок 3.5 – Залежність величини повороту вихідного вала від тривалості імпульсу

Сервоприводи відрізняються за розмірами. Хоча офіційної класифікації не існує, але виробники дотримуються декількох розмірів з загальноприйнятим положення елементів кріплення. Їх можна умовно поділити на наступні групи:

а) найменші сервоприводи. Вага 8-25 г, розміри 22×15×25 мм. Обертаючий момент до 3 кг/см;

б) середні за розміром. Вага 40-80 г, розміри 40×20×37 мм. Обертаючий момент до 15 кг/см;

в) великі за розміром. Вага 50-90 г, розміри 49×25×40 мм. Обертаючий момент 15 кг/см і більше.

г) найбільші. Вага до 100 г, розміри 64×44×20 мм. Обертаючий момент до 35кг/см [17].

Для даного випадку найкращим варіантом буде використання сервопривода RDS3235 (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Сервопривод RDS3235

Він має наступні характеристики:

- робоча напруга 5-7,4 в;
- робоча швидкість 0,13 с / 60°;
- обертальний момент 29 кг/см при напрузі 5в зі струмом 1.9 а;
- струм холостого ходу 5 мА;
- розмір 40×20×38,5 мм;
- робоча частота 50-333 Гц;
- кут повороту 180°;
- вага 60 г [19].

3.3 Мікроконтролер AtMega328

Для виконання даної задачі найкраще підходить недорогий мікроконтролер AtMega328, що використовується на платформі Arduino UNO. Цей вибір обумовлений широкими функціональними можливостями даної

платформи , доступністю та простотою роботи. Зовнішній вигляд апаратної платформи представлений нижче на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 - Мікроконтролер Arduino UNO

Ця платформа має наступні характеристики:

- мікроконтролер AtMega328;
- робоча напруга 5 В;
- мінімальна вхідна напруга 6 В;
- максимальна вхідна напруга 20 В;
- рекомендована напруга живлення 7-12 В;
- 6 аналогових входів;
- 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 підтримують ШИМ;
- вихідний струм до 40 мА;
- 32 Кб flash-пам'яті, з яких 0,5 Кб займає вбудований загрузчик;
- 2 Кб оперативної пам'яті;
- частота вбудованого тактового генератора 16 МГц[18].

Будь-який з цифрових виводів може бути запрограмований як вхід або вихід за допомогою вбудованих програмних функцій `pinMode ()`, `digitalRead ()`, `digitalWrite ()`. Використовуючи функцію `digitalWrite ()`, виводи 3, 5, 6, 9, 10, 11 можуть забезпечувати ШИМ з розширенням 8 біт.

Також платформа має вмонтований загрузчик і це дозволяє програмувати мікроконтролер без допомоги сторонніх програматорів. Програмування відбувається в середовищі Arduino, що складається з вбудованого текстового редактора, області повідомлень, вікна виводу тексту, області повідомлень, панелі інструментів та ряд меню. Мова програмування заснована на мовах програмування C та C++. Зв'язок з ПК відбувається за допомогою USB через COM порт.

3.4 Світлочутливі елементи

Для постійного автоматичного корегування положення робочої поверхні фотоелементів потрібні світлочутливі сенсори. В нашому випадку в ролі фоточутливих сенсорів використовуються фоторезистори. Вони мають властивість змінювати опір в залежності від інтенсивності освітлення. Основним параметром фоторезистора є його світловий та тіньовий опір, робоча напруга, фотострум та загальний струм. Основними перевагами є компактні розміри, найнижчу ціну серед фотосенсорів та найкращу стійкість до зовнішніх факторів. Але фоторезистори мають наступні недоліки: високий опір (як світловий так і темновий), який не завжди задовольняє потреби систем, низька чутливість до світла.

Головний пріоритет для нашої задачі – компактний розмір, надійність та низька ціна. Швидкість реакції на сонячне світло та точність вимірювання не впливає на кількість виробленої енергії, тому були вибрані фоторезистори АМР-Х016, що зображені на рисунку 3.8.

Дані фоторезистори мають наступні характеристики:

- тіньовий опір 500 кОм;

- опір при 10 люкс (24 ± 2) кОм.



Рисунок 3.8 - Фоторезистор АМР-Х016

3.5 Сонячні панелі

Найважливішим компонентом даної системи є сонячні панелі. Існує два основних типа сонячних панелей: монокристалічні та полікристалічні.

Монокристалічні панелі мають найвищу ефективність серед інших типів сонячних елементів. Вона може досягати 22 %, а в комірній галузі 38%. Монокристалічний кремній виготовляється з очищеної високоякісної сировини.

Полікристалічні елементи мають ефективність до 18 %. Більш низька ефективність пов'язана з тим що полікристалічний кремній виготовляється не тільки з кремнію високого ступеня очистки, а й з перероблених сонячних панелей та відходів металургічної промисловості. Це призводить до появи дефектів в полікристалічних елемента [20].

Якщо місце установки панелей необмежено, полікристалічні панелі більш раціональні по відношенню ціна-потужність. Для нашої мобільної установки найкращим варіантом будуть панелі SOLAR-165X135-3.5W-6V, що мають наступні параметри:

- матеріал: полікристалічний кремній;
- напруга холостого ходу 6 В;
- максимальний струм 580 мА;
- Розміри 165×135×2мм



Рисунок 3.9 – Сонячні панелі SOLAR-165X135-3.5W-6V

3.6 Деталі корпусу

Корпус є найбільш габаритною частиною системи, і основною його задачею є опора всієї системи, захист від Сонця та вологи складових системи. 3D модель корпусу представлена на рисунку 3.10:

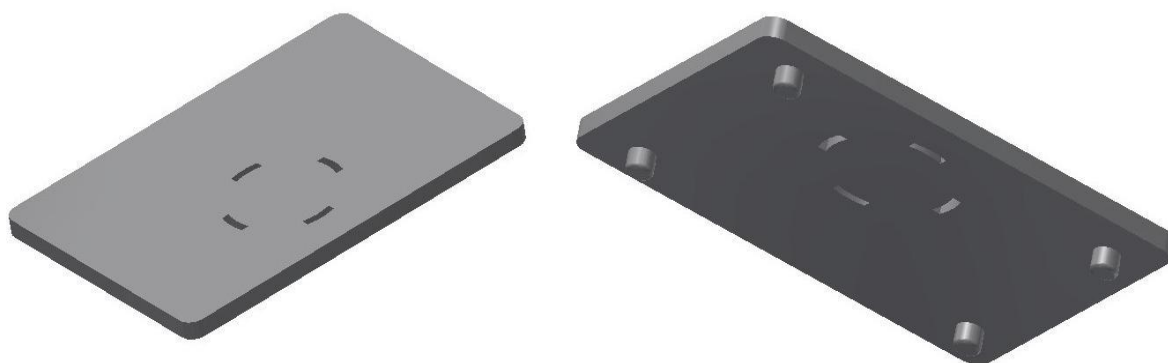
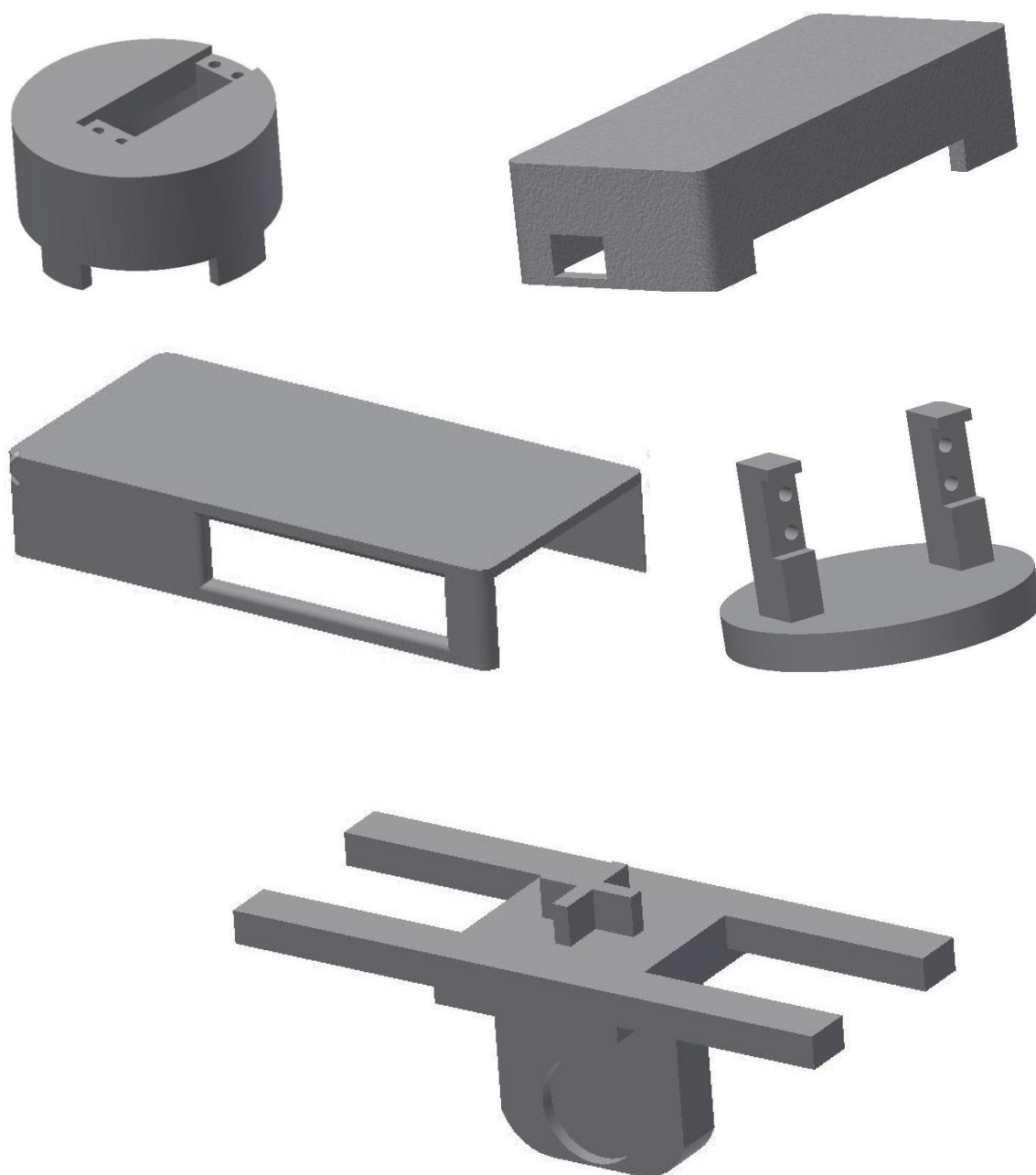


Рисунок 3.10 – Складові корпусу в вигляді 3D моделі



– Продовження рисунка 3.10

Дана конструкція є не тільки опорою, але й захищає акумулятори та плату з мікроконтролером від потрапляння прямих сонячних променів, пилу та інших зовнішніх факторів.

3.7 Електрична схема

Для того щоб зібрати електричну схему потрібно підготувати наступні елементи:

- з'єднувальні провідники;
- 4 резистора;
- фоторезистори AMP-X016 4 штуки;
- макетна плата.

Фоторезистори підключаються в парі з резисторами номіналом 10кОм по схемі роздільника напруги, що схематично зображено на рисунку 3.11.

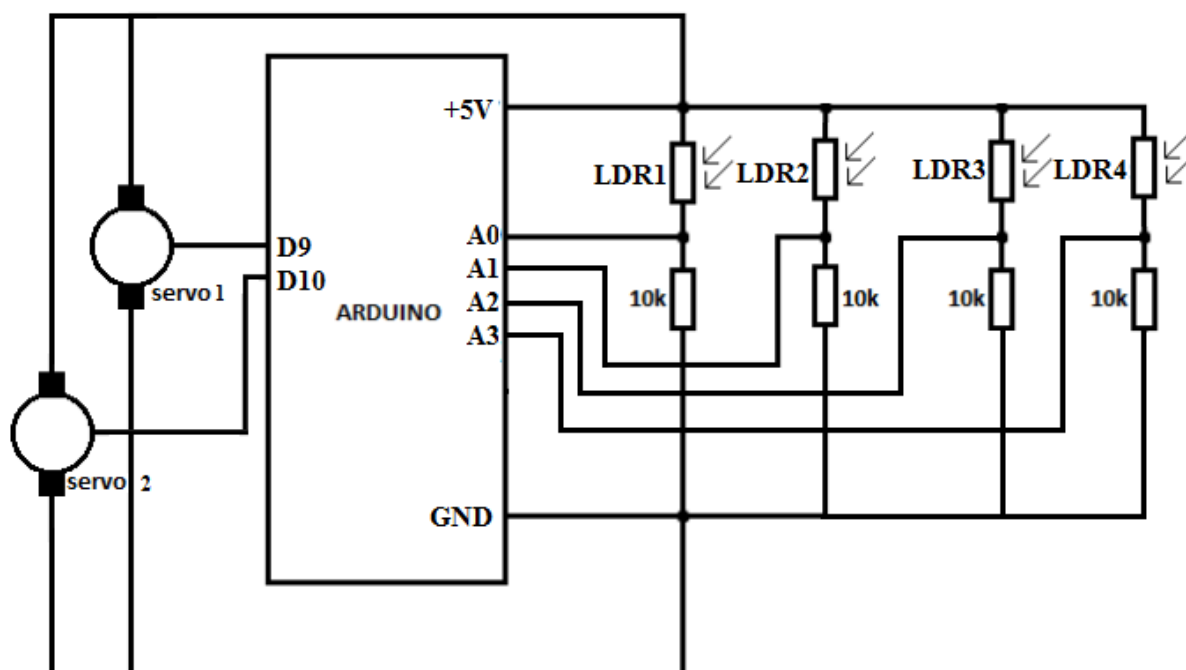


Рисунок 3.11 – Електрична схема установки

В цій схемі аналогові входи A0, A1, A2, A3 відповідають за зчитування показників сенсорів. Далі з отриманих значень по цифровим виходам D9, D10, платформа виконує алгоритм обробки, в ході якої визначається потрібна величина тривалості імпульса, яка буде відправлена на сервопривод.

3.8 Алгоритм роботи програми

Алгоритм роботи наступний: дані з сенсора подаються на мікроконтролер. За допомогою АЦП обробляється вхідна інформація. Маючи

первинні показання, програма розраховує середнє арифметичне значення показників кожної пари фоторезисторів. Якщо різниця по модулю між середніми значеннями правої та лівої сторін підставки для сонячних панелей більше встановленого програмою порога, то надсилається відповідний сигнал на сервоприводи, і відбувається поворот у відповідну сторону, з більшим середнім значенням. Аналогічно і для нижньої та верхньої сторін підставки. Алгоритм роботи представлений на рисунку 3.12, а вихідний код програми представлено в додатку В.

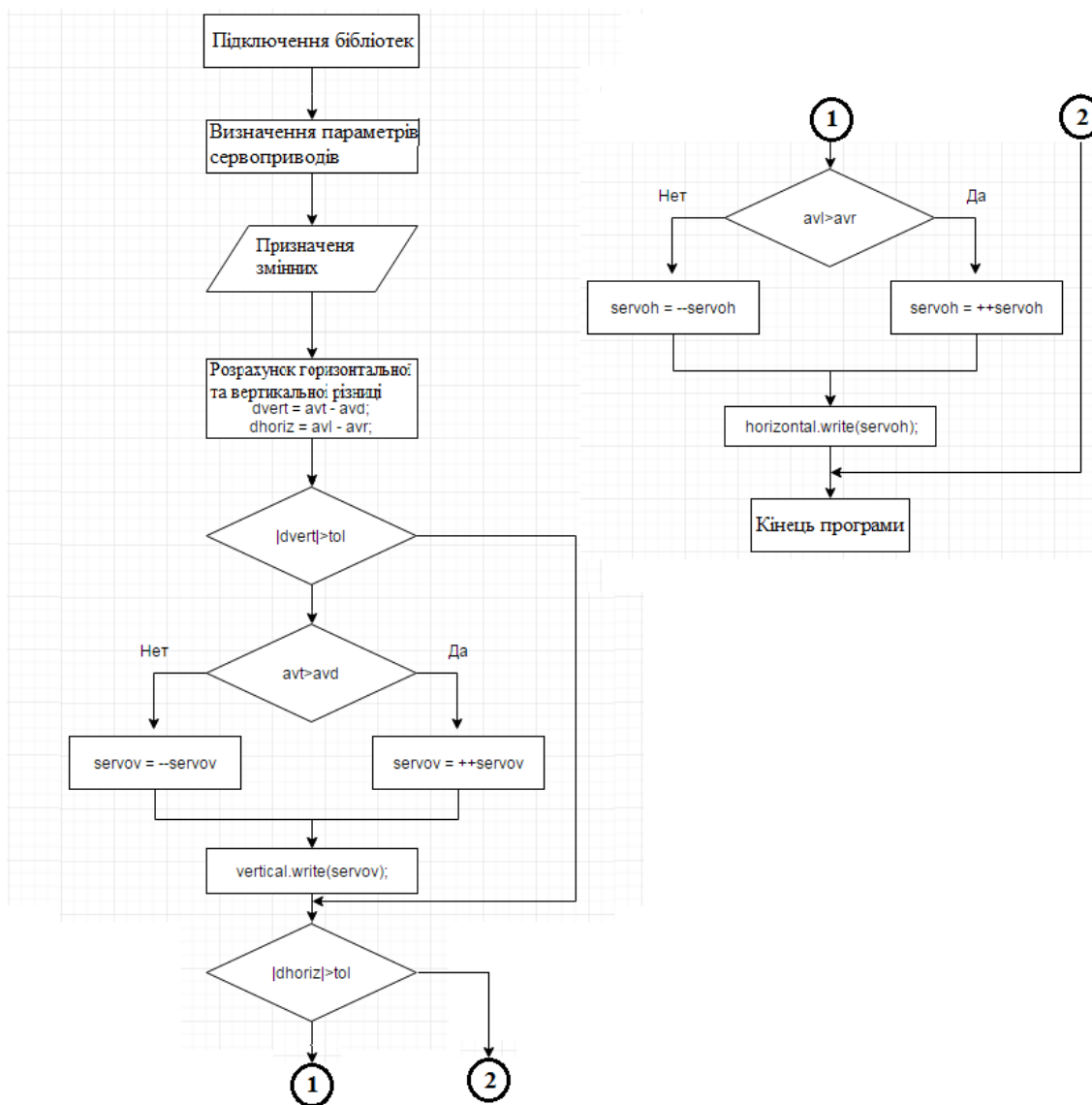


Рисунок 3.12 – Блок-схема алгоритму роботи програми

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз літературних джерел, який показав, що для збільшення ефективності роботи сонячних фотоперетворювачів найбільш ефективним методом є застосування систем стеження за Сонцем.

В результаті виконання роботи був проведений аналіз методів збільшення ефективності роботи сонячних батарей. Розглянуті принципи роботи різноманітних по функціональності та принципу дії систем стеження за Сонцем. Описано алгоритм роботи всіх існуючих систем орієнтування.

Відзначено, що найефективнішими є двохосні системи стеження. Одноосні ж мають простішу конструкцію та меншу вартість, але їх ефективність нижча порівнянні з двохосними. Дані системи можуть використовувати різні алгоритми роботи. Для роботи системи може бути використана заздалегідь написана програма, денна або річна. Завдяки чому і відбувається зміна положення робочої поверхні на протязі дня та року. Замість програми для орієнтування можуть використовуватися сенсори положення Сонця, але сенсори мають деякі недоліки.

У ході проведення розрахунків було визначено: значення ЕОТ для 1-го числа кожного місяця, значення істинного сонячного часу в залежності від місяців року, значення місцевого часового кута по місяцям року, значення рівня сонцестояння в залежності від місяця, значення коефіцієнта поправки на повітряну масу по місяцям року, значення виробленої потужності з використанням системи орієнтування з двома осями, значення виробленої потужності з використанням системи орієнтування з однією віссю, значення потужності по місяцям року при стаціонарній установці сонячних панелей, значення сонячної інсоляції по місяцям. Розрахунки показали, що одноосна система орієнтування за рік підвищує ефективність вироблення енергії на 51 %, а двохосна система – на 63 % в порівнянні з панелями, що встановлені стаціонарно.

Запропоновано варіант мобільної системи орієнтування за Сонцем, що працює на платформі Arduino, та приводиться в рух за допомогою сервоприводів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шиняков Ю.А., Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок // «Электроника, Измерительная Техника, Радиотехника и Связь. Доклады ТУСУРа», № 2 (22), часть 2, декабрь 2015, С 102.
2. Попель О.С., К расчету поступления солнечной радиации на земную поверхность // «Гелиотехника» 1986 №1 С 56.
3. Плеханов С.И., Наумов А.В. Оценка возможностей роста производства солнечных элементов на основе CdTe, CIGS и GaAs/Ge в период 2010-2025 г.г. URL: AEnergy.ru (Дата звернення 15.10.2020).
4. Наумов А.В., Развитие солнечной энергетики на основе тонкопленочных CIGS-элементов // «Энергия: экономика, техника, экология» 2013. № 7 с. 14.
5. Кузнецов Ф.А., Кремний для солнечной энергетики// «Материалы электронной техники» 2018. №4 С 4.
6. Gay, CF and Wilson, JH and Yerkes Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems // «Conf. Rec. IEEE Photovoltaic Spec. Conf» 16 2014p.
7. Капля Е. В. Автоматическая система ориентации солнечной батареи в условиях переменной освещенности// «Известия ВолгГТУ» 2019 №8(56) с.88.
8. Solarsoul URL: <http://solarsoul.net/treker-dlya-fotoelektricheskix-ustanovok> (Дата звернення 29.10.2020).
9. UST URL: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032> (Дата звернення 30.10.2020).
- 10.Damm, J. An active solar tracking system // HomeBrew Magazine – 2016 96с.
- 11.Deger URL: <http://www.degerenergie.de> (Дата звернення 10.11.2020).
- 12.Солар URL: <http://solarb.ru/solnechnye-batarei-na-povorotnykh-modulyakh> (Дата звернення 19.11.2020).

13. Пантелеев В.Л. Физика Земли и планет // «Курс лекций–М. МГУ» 2011р.
14. Petrov L.A. Solar Tracking Strategies // «BSc (Hons) Dissertation – University of DUNDEE» 2010/2011 С 79.
15. .Атмосфера URL: <https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine>(Дата звернення 23.11.2020).
16. Международная научно-техническая конференция "Измерение, контроль, информатизация". АлтГТУ, 2016. Тема доклада: «Управление автономной гибридной солнечной энергетической установкой» URL: <http://mca.altstu.ru> (Дата звернення 24.11.2020).
17. Сервоприводы URL: <http://wiki.amperka.ru> (Дата звернення 25.11.2020).
18. Arduino UNO SMD | Overview | Summary URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUnoSMD> (Дата звернення 25.11.2020).
19. Сервопривод цифровой DS3235 35 кг URL: <https://megashara.biz/p1119985437-servoprivod-tsifrovoj-ds3235.html> (Дата звернення 25.11.2020).
20. Сравнение монокристаллических и поликристаллических солнечных батарей URL: <http://www.solnechnye.ru> (Дата звернення 25.11.2020).
21. Arduino SolarTracker URL: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Solar-Tracker> (Дата звернення 25.11.2020).
22. Frolova Tetyana, Solar Simulator for Photovoltaic Devices Based on the Electrodeless Sulfur Lamp / Tetyana Frolova, Andrii Frolov // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET'2018), Lviv-Slavske (Ukraine), 20-24 February, 2018. – PP. 785–789. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336316
23. Frolova T. Analysis of a Solar Simulator Based on the Electrodeless Sulfur Lamp for Photovoltaic Devices // T. Frolova, A. Frolov / Telecommunications

and Radio Engineering, № 77 (6), – 2018. – P. 525-539. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i6.50

24. T. I. Frolova, G. I. Churyumov, V. M. Vlasyuk and V. P. Kostylyov, "Combined Solar Simulator for Testing Photovoltaic Devices", 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Nevsehir, Turkey, 12-15 June, 2019, pp. 276–280. DOI: 10.1109/ GPECOM.2019.8778607

25. Вдовиченко К.В., Фролова Т.І. Вплив спектра випромінювання на характеристичні криві сонячної батареї, Тези доповідей XIV Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (3-5 грудня, 2019, м. Харків, Україна). – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2019. – С. 35.

26. Сухін А.А. Система керування сонячними панелями на базі ARDUINO, Матеріали XXIV Міжнародного молодіжного форуму "Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті", 7–9 квітня 2020 р., Зб. Матеріалів форуму. Том 1. Конференція "Електронна, лазерна та біотехнічна інженерія. – Харків: ХНУРЕ. 2020 . – С. 47–48.

27. Позднякова А.О. Поліпшення довгострокової стабільності сонячних батарей на основі перовскіта, Матеріали XXIV Міжнародного молодіжного форуму "Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті", 7–9 квітня 2020 р., Зб. Матеріалів форуму. Том 1. Конференція "Електронна, лазерна та біотехнічна інженерія. – Харків: ХНУРЕ. 2020. – С. 49–50.